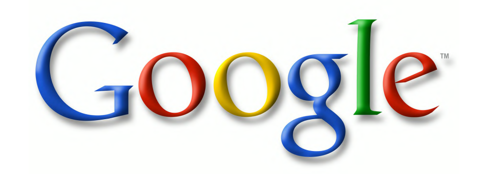


W. Biscan.

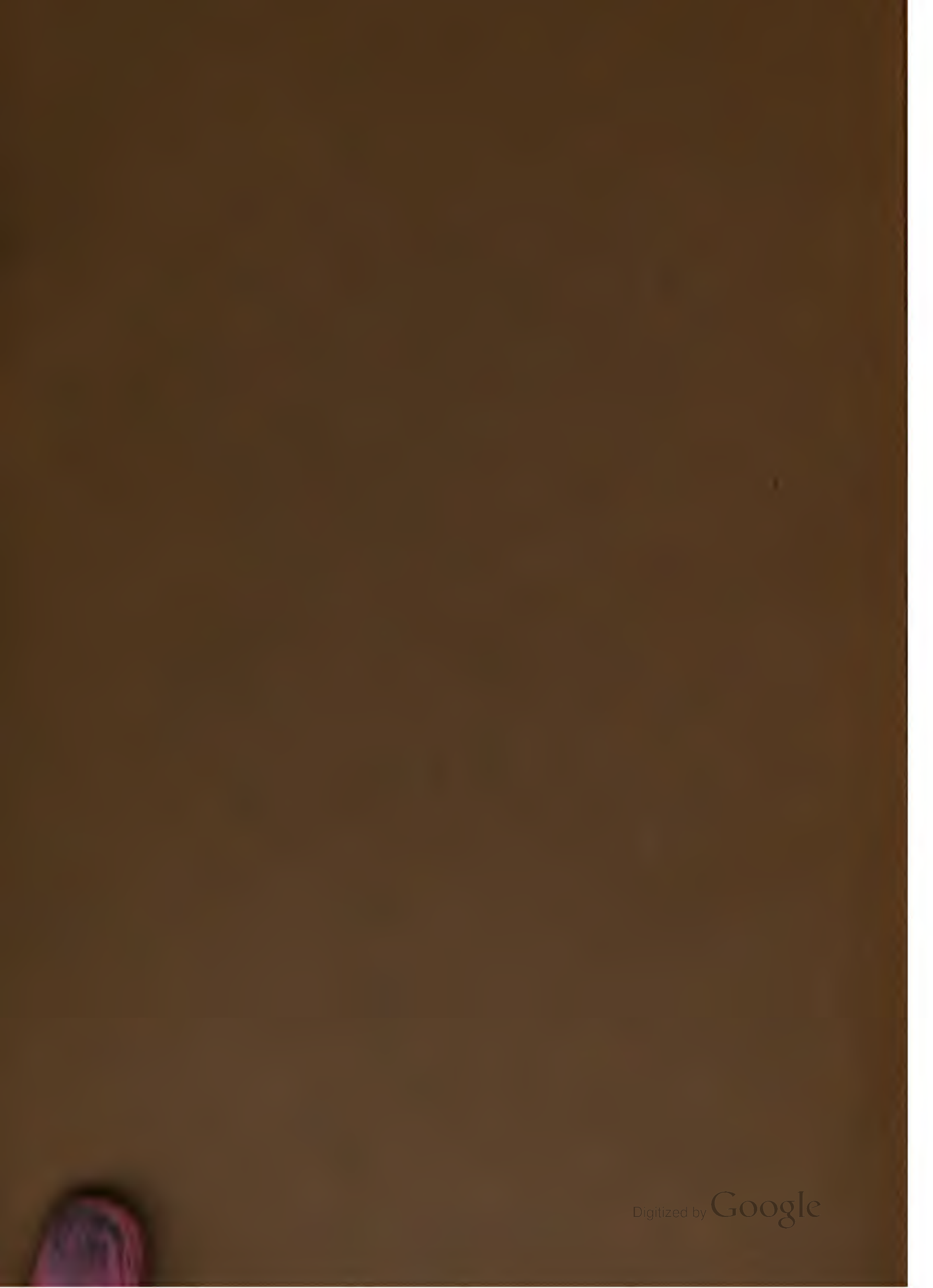
Die Dynamo-Maschine.











Die Dynamomaschine

Zum Selbststudium

für

Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure etc.

sowie als

Anleitung zur Selbstanfertigung von Dynamomaschinen

leicht faßlich dargestellt

von

Prof. Wilh. Biscan,

Direktor des Städtischen Elektrotechnikums Teplitz
gegründet 1895 von Wilh. Biscan.

10. vermehrte und umgeänderte Auflage.

Mit 97 Abbildungen und Konstruktionszeichnungen.



Leipzig
Verlag von Oskar Leiner.
1905.

Vorwort zur zehnten Auflage.

Wenn ich dieses Büchlein in nahezu unveränderter Auflage der Öffentlichkeit übergebe, so geschieht dies aus Erfahrungsgründen: Die Leser dieses Buches wollen keine schwierigen Abhandlungen und auch keine mathematischen Ableitungen. Die heutige Dynamokunde hat aber eine hohe Ausbildung erfahren, die sie dem Umstande dankt, mathematisch sicher zu fassende Begriffe eingeführt zu haben. Sowie ich aber mit solchen kommen wollte, müßte ich von der Voraussetzung eines andern Leserkreises ausgehen und würde damit gerade jenen, für welche ich diese Zeilen — und ich betone: für ein grundlegendes Studium bestimmt — geschrieben, wenig zu Liebe tun.

Teplitz, im Juni 1905.

Biscan.

Erstes Kapitel.

Statische und dynamische Elektrizität.

Es dürfte wohl kaum einen meiner Leser geben, der nicht, und sei es auch nur als Knabe, sich mehr oder minder mit Elektrizität resp. mit elektrischen Experimenten befaßt hat. Da sind es meistens die Elektrisiermaschine, der Elektrophor, die Leydener Flasche, dann galvanische Elemente mit Klingel u. dergl. mehr, welche schon den Knaben beschäftigen und gewiß auch geistig anregen. Und war es auch nur eine Spielerei — sie war nützlich: etwas reelles Wissen bleibt stets zurück.

So glaube ich daher voraussetzen zu dürfen, daß auch jene meiner Leser, welche keinen wissenschaftlichen Grad von Vorbildung besitzen, so viel von Elektrizität wissen, daß ich behaupten kann, es wird ihnen der auffällige Unterschied der durch Reibung und der durch das galvanische Element erzeugten Elektrizität bemerkbar geworden sein.

Wir wollen hier ein wenig darauf eingehen. Die Reibungselektrizität kann als positive oder negative Elektrizität auf einer von der Erde durch Glasfüße isolierten metallischen Kugel — Konduktor — ruhend vorhanden sein; wir können so einen Konduktor mehr oder weniger stark laden, indem wir ihn beispielsweise mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine — wie man sagt — leitend verbinden.

Wir haben hier einen für sich abgeschlossenen Körper, der den Sitz der Elektrizität bildet; dieselbe ist also gewissermaßen im Zustande der Ruhe. Nähern wir nun den Knöchel unserer Hand diesem Konduktor, so sehen wir einen Funken überspringen, dessen Größe, wie bekannt, von der mehr oder minder großen Ladung abhängen wird. (Unter Ladung versteht man die Menge Elektrizität, welche auf der Flächeneinheit sich befindet; man kann also auch von der Dichte der Elektrizität sprechen.) In diesem Falle sehen wir, daß die Elektrizität sich in Bewegung befindet — es ist aber gewissermaßen ein Ausnahmezustand; es ist der Ausgleich zweier Elektrizitäten

vor sich gegangen. Die Erklärung hierfür ist die folgende: Sobald wir den Knöchel unserer Hand, also diese selbst, dem elektrisch geladenen Körper nähern, induziert[1]) die Elektrizität, welche sich auf dem Konduktor in Ruhe befand, beiderlei Elektrizität, d. h. positive und negative, in der Hand. Nehmen wir an, der Konduktor habe positive Elektrizität, so werden diejenigen Teile unseres Körpers, welche dem Konduktor nahe sind, also unsere Hand, negative Elektrizität auf ihrer Oberfläche haben, während die positive durch unseren Körper zur Erde strömt. Wieder sehen wir die beiden Elektrizitäten, die des Konduktors und die unserer Hand, in Ruhe; erst wenn die Entfernung der beiden gering genug geworden, springt ein Funke über, wodurch beide Körper unelektrisch werden.

So zeigen uns zahlreiche Experimente, daß die durch Reibung erzeugte Elektrizität der Hauptsache nach im Zustande des Gleichgewichts sich befindet. Man hat daher hierfür die Bezeichnung »statische Elektrizität« [2]) eingeführt, wie wir sie auch weiter nennen wollen.

Ganz andere Verhältnisse liegen aber vor, wenn wir es mit sog. galvanischer Elektrizität, also derjenigen, welche wir durch galvanische Elemente (oder Dynamomaschinen) erzeugen können, zu tun haben. Wir sind da nicht imstande, nur eine Art, also positive oder negative Elektrizität, auf irgend einem Körper anzusammeln. Wir sehen dieselbe vorzüglich nur in Bewegung begriffen und zwar innerhalb in sich geschlossener Bahnen. Der Ausdruck galvanischer Strom ist daher ein sehr gut gewählter und drückt so recht das Wesen der als die »galvanische« bezeichneten Elektrizität aus. Der erwähnte Umstand nun, daß wir diese Elektrizität stets nur in Bewegung sehen, ist Veranlassung gewesen, hierfür die Bezeichnung »dynamische Elektrizität« einzuführen.[3]) Ganz streng sind nun diese Bezeichnungen auch nicht zu nehmen, da wir die statische Elektrizität z. B. als Funken in Bewegung sehen und es auch unter gewissen Bedingungen möglich ist, daß die dynamische Elektrizität sich als Ladung, also im Zustande der Ruhe, befindet. Da aber diese Zustände als Ausnahmezustände zu bezeichnen sind und es sowohl für die statische als die

---

[1]) Diese mit dem Namen Influenz bezeichnete Erscheinung besprechen wir noch an einer anderen Stelle.

[2]) Von Statik (griech.) = die Lehre von den Gesetzen des Gleichgewichts — der Ruhe.

[3]) Von Dynamik (griech.) = die Lehre von den Gesetzen der Bewegung.

dynamische Elektrizität verschiedene Erregungsarten gibt, sodaß wir die erstere nicht gut als Reibungs-, die zweite nicht gut bloß als Kontaktelektrizität bezeichnen können, so ist es den wissenschaftlichen Ergebnissen zufolge weit richtiger, die sich mehr und mehr popularisierenden Ausdrücke ausschließlich zu behalten. Es ist damit der auffällige Unterschied der beiden Elektrizitätsarten entschieden deutlich gekennzeichnet. Wir wollen nun die beiden Elektrizitätsarten näher kennen lernen.

Zweites Kapitel.

Erregungsarten von Elektrizität.

A. Statische Elektrizität. Die einfachste und ältestbekannte Art, Elektrizität zu erregen, ist die durch Reibung. Nehmen wir eine Glasstange und reiben dieselbe mit einem Wollappen oder besser noch mit einem Stück Leder, das mit Quecksilberamalgam[1]) bestrichen ist, so sehen wir, daß kleine leichte Teilchen, wie Härchen, Papierschnitzel usw., von der Stange angezogen und wieder abgestoßen werden. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn man eine Siegellack- oder Hartgummi- (Ebonit-) Stange reibt. Eingehendere Versuche zeigen, daß die auf der Glasstange befindliche Elektrizität der auf der Ebonitstange befindlichen entgegengesetzt ist; man bezeichnete erstere als positive, die letztere als negative Elektrizität.

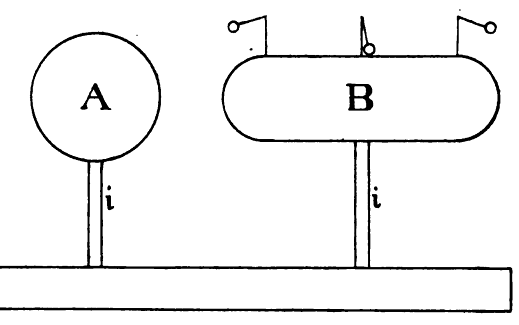


Fig. 1.

Zur Erregung größerer Massen von Elektrizität bedient man sich

[1]) Dasselbe wird durch Verreiben von 2 Teilen Zink mit 1 Teil Quecksilber erhalten.

der Elektrisiermaschine, die wir hier wohl als bekannt voraussetzen dürfen.

Eine weitere Art der Erregung von Elektrizität ist die durch Influenz. Ein einfaches Beispiel wird diese erklären. Denken wir uns die Kugel A (Konduktor) Fig. 1 aus Metall (oder Holz mit Stanniol überzogen) durch einen Glasfuß i von anderen Körpern isoliert, einem zweiten Konduktor B von zylindrischer, an den Enden durch Halbkugeln abgeschlossener Form gegenübergestellt. Dieser letztere Konduktor hat an drei Stellen, und zwar an den beiden Enden und in der Mitte, Holundermarkkügelchen an feinen Fäden, die an Stäbchen befestigt sind, wie kleine Pendel, angebracht. Sowie wir dem Konduktor A eine Art, sei es positve oder negative Elektrizität beibringen, sehen wir den Konduktor B ebenfalls elektrisch werden; dies zeigt die Abstoßung der Pendelchen an den Enden, während uns die Ruhe des mittleren Pendelchens zeigt, daß dortselbst der elektrische Zustand = 0 ist. Untersuchen wir den Konduktor B näher, so finden wir, daß das dem Konduktor A nähere Ende des ersteren die entgegengesetzte, das von ihm entferntere Ende die gleichnamige Elektrizität aufweist. (Siehe Fig. 1.) Daß die entstandene Elektrizität nur eine Wirkung und zwar, wie man allerdings nicht ganz richtig sagen kann, eine Fernwirkung — Influenz — ist, kann man damit nachweisen, daß man den Konduktor A langsam entfernt: die Elektrizität auf dem Konduktor B wird dadurch kleiner, was man an dem Zurückgehen der Pendel erkennt, und sie verschwindet ganz, sobald der Konduktor A weit genug, um keine Wirkung auszuüben, weggebracht wurde; die Pendel fallen in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück.

Derartige Influenzwirkungen finden stets statt, wenn Körper, auf deren Oberfläche sich elektrische Mengen befinden, anderen Körpern nahekommen, z. B. beim Nähern der Hand an einen elektrisch geladenen Konduktor, bei einem Gewitter, indem elektrisch geladene Wolken der Erdoberfläche gegenüberstehen, und dergleichen mehr.

Statische oder, wie man ja auch häufig sagt, Reibungs-Elektrizität wird auch bei manchen Tieren, wie dem Zitterwels, Zitterrochen und anderen, durch den Lebensprozeß erzeugt, und dieselbe bildet eine anderen Tieren oft gefährliche Schutzwaffe für das mit derartigen Elektrizität erzeugenden Organen behaftete Tier.

B. Dynamische Elektrizität. Weit wichtiger für uns, die wir uns ja mit der dynamischen Elektrizität näher befassen wollen, indem

wir die Regeln, nach welchen der dynamische, resp. galvanische Strom durch Maschinen erzeugt wird, kennen zu lernen beabsichtigen, sind die Erregungsarten dieser Elektrizität.

Die zuerst von Volta[1]) entdeckte Art, galvanische Elektrizität zu erzeugen, beruht auf der Tatsache, daß bei Berührung heterogener, d. h. verschiedenartiger Körper — welche die Elektrizität leiten — bei gleichzeitig auftretenden chemischen Prozessen Elektrizität erzeugt wird. Man nennt daher auch die so entstandene Elektrizität Berührungs- oder Kontaktelektrizität.

Die Entstehungs- und Wirkungsweise dieser Elektrizität wollen wir an der Hand eines und zwar des ersten und einfachsten Elementes, des Voltaschen, besprechen.

Taucht man eine Zink- (Zn) und eine Kupfer- (Cu) Platte in verdünnte Schwefelsäure ($H_2 SO_4$) und verbindet die beiden aus der Flüssigkeit ragenden Enden der beiden Metallstreifen durch einen Kupferdraht, so entsteht ein elektrischer Strom.

Wir wollen uns hier etwas länger aufhalten, da es zweckdienlich erscheint, an dieser Stelle einige Begriffe festzustellen, möchten aber auch gleich bemerken, daß wir ja selbstredend in diesem Buche nicht auf die Besprechung der Elemente eingehen können, und verweisen daher auf eine entsprechende Literatur.[2]) Anderseits sei aber hier ein Punkt zur Sprache gebracht, dessen Erwähnung wichtig, und möge daher die folgende kleine Abweichung gestattet sein.

Die Schönheit und Annehmlichkeit, sowie das Einfache des elektrischen Glühlichtes, nicht weniger aber auch der Reiz, der in dem gewissermaßen Geheimnisvollen liegt, läßt in so manchem den Wunsch rege werden, sich elektrisches Licht mit Hilfe von galvanischen Elementen herzustellen, wenn es ihm versagt bleibt, eine maschinelle Einrichtung sich zu beschaffen, oder er einen Anschluß an eine von einer Zentrale ausgehende Leitung nicht haben kann. Derartige Projekte sind nun von Hause aus verfehlt, und nur die Unkenntnis der wissenschaftlichen Tatsachen kann jemanden veranlassen diesbezügliche Versuche anzustellen. Allerdings werden oft genug Personen von sog.

[1]) Der Name »galvanischer« Strom (Galvanismus = die Lehre vom galvanischen Strome) rührt vom Namen des Entdeckers dieser Elektrizität, dem italienischen Arzte Luigi Galvani, her, der eine Wirkung beobachtete, ohne jedoch eine Erklärung hierfür geben zu können. In älteren Lehrbüchern liest man wohl oft — und weit richtiger — »Voltascher« Strom, doch hat sich diese Bezeichnung nicht eingebürgert.

[2]) Hauck, W. Ph., Die galv. Batterien usw.

Batterie-Beleuchtungsschwindlern ausgebeutet und gelangen erst durch schwere Opfer zur Einsicht der Unzweckmäßigkeit einer galvanischen Batterie zu Beleuchtungszwecken. Hingegen ist es nicht allzu schwierig, sich mit Hilfe einer vorhandenen Kraft und einer kleinen Maschine das Vergnügen elektrischen Lichtes zu schaffen, wie wir dies in einem späteren Kapitel des näheren sehen werden. — Und nun zurück zu unserem Volta-Element.

Sobald die beiden Metalle Zink und Kupfer in die Flüssigkeit tauchen, wird Elektrizität erzeugt; dieselbe zeigt sich uns jedoch durch keinerlei auffällige Erscheinung; wir wissen aber, daß ein gewisser Zustand der Spannung herrscht, daß eine Kraft oder besser noch, eine Energie vorhanden ist, welche in dem Momente, wo wir den Stromkreis durch Verbindung des Kupfers mit dem Zink herstellen, tätig wirkt, indem sie den Strom erzeugt. Man nennt die den Strom erzeugende Kraft die elektromotorische Kraft des Elementes. Die elektromotorische Kraft ist also gewissermaßen als die Ursache des Fließens eines galvanischen Stromes aufzufassen. Wir können sie sehr gut mit dem Drucke vergleichen, der in einem Rohre herrscht, in dem Wasser fließt. Ebenso wie hier kein Fließen stattfinden kann, wenn kein Druck herrscht, also keine bewegende Kraft, können wir uns auch keinen elektrischen Strom denken ohne elektromotorische Kraft.

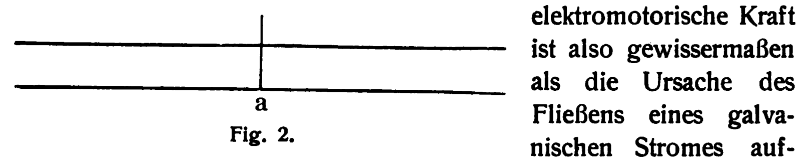


Fig. 2.

Sowie aber jeder Druck (Spannung) als Druckdifferenz aufgefaßt werden kann, d. h. als Differenz zweier Drucke, können wir auch dasselbe in bezug auf die elektromotorische Kraft tun. Denken wir uns ein Rohr mit Wasser (Fig. 2), in welchem bei a eine Scheidewand sich befindet, welche ein Fließen des Wassers unmöglich macht. Übt das Wasser von beiden Seiten nach a gleich große Drucke aus, so wird der Zustand nicht geändert, wenn die Scheidewand entfernt wird. Sowie aber eine Druckdifferenz (Spannungsdifferenz) herrscht, d. h. der Druck z. B. von links nach rechts größer ist als derjenige in umgekehrter Richtung, so wird sich das Wasser in der Richtung des größeren Druckes bewegen. In ähnlicher Weise muß nun auch an den Enden der Metalle — der Pole des Elementes — eine elektrische Spannungsdifferenz herrschen, welche

bei Verbindung der beiden Pole durch einen Leiter den Strom erzeugt.

Die elektromotorische Kraft ist bei einer und derselben Kombination im großen und ganzen unveränderlich und unabhängig von der Größe des Elementes, bei verschiedenen Kombinationen aber, z. B. Kohle — Zink in verdünnter Schwefelsäure und anderen — verschieden.

Der erzeugte Strom fließt nicht nur durch den äußeren Kreis, also durch den die Pole verbindenden Draht sondern auch durch die Flüssigkeit des Elementes, wie es die schematische Fig. 3 andeutet.

Wenn man von der Richtung des Stromes spricht, so hat man stets nur die des positiven Stromes im Auge.

Das Vorhandensein eines elektrischen Stromes erkennt man am besten durch die Ablenkung einer Magnetnadel, welche diese erfährt, sobald ein Strom durch einen derselben benachbarten Leiter fließt. Hierzu bedient man sich am einfachsten einer kleinen Vorrichtung, die man sich, wie im folgenden angegeben, leicht selbst herstellen kann. Über ein Stück Holz von rechteckiger Form wickelt man isolierten Kupferdraht von ungefähr 0,5 *mm* Durchmesser in einigen Lagen nebeneinander, indem man auf rechtwinkeliges Umbiegen des Drahtes achtet. Vorher hat man an vier Stellen kleine Streifen Leinwand oder gutes Papier gelegt, deren Enden man sodann um den gewickelten Draht legt und durch ein Klebemittel (Schellacklösung, nicht zu heißen Siegellack) fixiert. Hat man nicht zu straff gewickelt, so läßt sich die so gebildete Spule leicht vom Brettchen abstreifen. Die Spule befestigt man mit kleinen Messingstreifen so auf ein Brettchen, daß der zuvor in dasselbe getriebene, gut zugespitzte Drahtstift in die Mitte kommt. Auf diesen Stift wird die mit einem Hütchen versehene Magnetnadel aufgehängt (siehe Fig. 4). Die Enden kann man passend mit Klemmen verbinden. (Letztere, sowie auch Magnetnadeln hält jeder Mechaniker auf Lager.) In dieser Weise hat man sich billig und einfach ein Galvanoskop hergestellt. Sehr

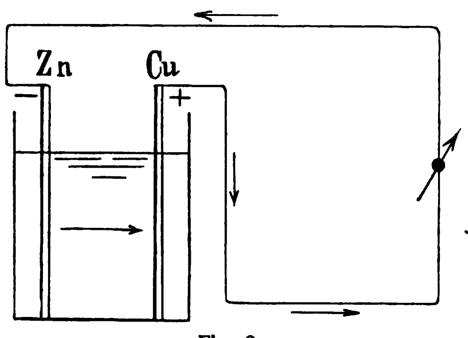


Fig. 3.

hübsche und verhältnismäßig billige Galvanoskope pflegen die Mechaniker zu erzeugen.[1])

Das Galvanoskop wird bei Gebrauch so aufgestellt, daß die Windungen des Drahtes parallel zur Nadel werden. Eine Magnetnadel hat das Bestreben, sich in die Süd-Nord-Richtung zu stellen, weshalb die Windungen nachgedreht werden müssen.

Fließt ein Strom durch die Drahtwindungen, so wird die Nadel abgelenkt und zwar nach folgender Regel: Denkt man sich selbst

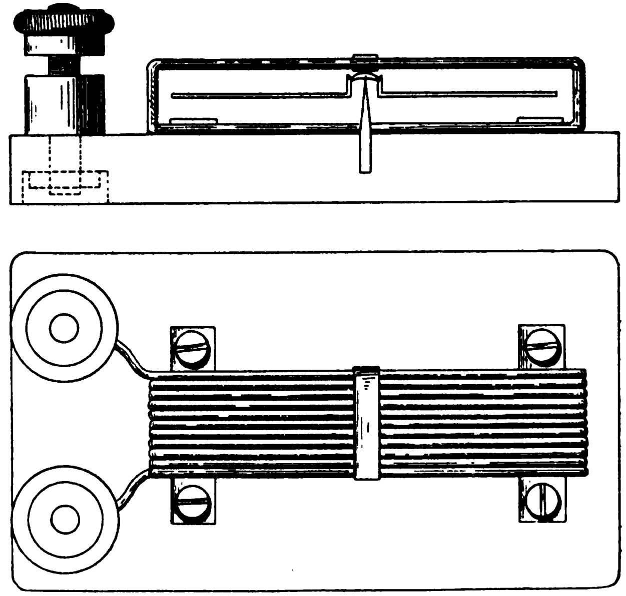


Fig. 4.

mit dem Strome schwimmend, das Gesicht der Nadel zugekehrt, so zeigt die ausgestreckte linke Hand nach dem abgelenkten Nordpole. Die Kenntnis dieser Regel setzt uns auch in den Stand, umgekehrt aus der Ablenkung der Nadel die Stromrichtung zu erkennen. Zu letzterem Zwecke empfiehlt sich auch die Anwendung des Polreagenzpapieres von Wilke, das insbesondere für Monteure von großem Werte ist. Die Stromrichtung findet sich dadurch, daß man auf eine angefeuchtete Stelle des Papiers die beiden Enden der Zu-

[1]) Eine genaue Konstruktionszeichnung zur leichten Anfertigung eines Galvanoskops dieser Art bringt die Tafel II der 1. Liefg. von Verfassers »Elektrotechnische Vorlagen«.

leitungsdrähte bei Abstand von einigen Millimetern drückt; das vom negativen Pole kommende Drahtende erzeugt einen deutlich roten Fleck am Papier.

Wenden wir uns nun zur Besprechung der wichtigsten Eigenschaften und Wirkungen des galvanischen Stromes.

Nachdem wir schon früher den Begriff der elektromotorischen Kraft festgestellt, wollen wir nun denjenigen der Stromstärke erklären. Unter Stromstärke verstehen wir die Elektrizitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters geht; allgemein werden wir die Stromstärke stets aus ihren Wirkungen beurteilen und aus der Größe der Wirkungen auf die Größe — Intensität — der Stromstärke schließen. Die Stromwirkungen, welche sich eignen, die Stromstärke zu messen, sind: die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Strom, die durch den Strom erzeugten chemischen Metall-Niederschläge und andere. Wir werden noch Gelegenheit haben, über die Stromstärke zu sprechen.

Die Wirkungen des elektrischen Stromes kann man unterscheiden: in solche im Stromkreise selbst und solche außerhalb desselben; gehen wir nun zur kurzen Besprechung der Wirkungen des Stromes über.

1. Physiologische oder Wirkungen auf den menschlichen Körper. Dieselben sind sehr verschieden, je nach der Art und Stärke des einwirkenden Stromes und der Stelle der Einwirkung.

Das ruhige Fließen eines Stromes, selbst eines ziemlich starken Stromes, durch den menschlichen Körper wird fast gar nicht oder nur sehr wenig an den Eintrittsstellen, stärker, wenn dieselben wund sind, empfunden. Hingegen bewirkt eine Unterbrechung des Stromes eine heftige Zuckung, die recht schmerzhaft sein kann. Ströme von sehr hoher Spannung rufen bei plötzlicher, kurz währender Einschaltung des Körpers in den Stromkreis sehr empfindliche Zuckungen hervor, gewissermaßen Schläge, die so heftig sein können, daß Ohnmacht und bei sehr hoch gespannten Strömen selbst der Tod eintreten kann.[1])

Am empfindlichsten sind Ströme, welche ihre Richtung rasch wechseln — die sog. Wechselströme.

---

[1]) Es ist durchaus nicht ratsam mit sog. Induktionsapparaten sich oder andere Personen zum Vergnügen zu elektrisieren; es sind leider genug Fälle bekannt, in welchen derartige Vergnügungen für den passiven Teil von üblen Folgen begleitet waren. Es ist festgestellt worden, daß die Stromstärke von 0,1 Ampère genügt, um beim Durchgange durch einen



Aus diesem Grunde ist es daher notwendig, bei Berührung von Maschinenteilen mit Vorsicht zu Werke zu gehen. Arbeiter, welche bei Maschinen beschäftigt sind, welche Ströme von sehr hoher Spannung liefern, sind daher gezwungen, Kautschukhandschuhe anzulegen, um vor Schlägen geschützt zu sein.

Die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die einzelnen Sinnesorgane, zu welchem Versuche man den Strom einer Batterie von 2 bis 3 Bunsenschen Elementen verwenden kann, äußert sich wie folgt: Legt man das Ende des einen Zuleitungsdrahtes auf die obere Seite der Zunge und das Ende des zweiten Drahtes auf die untere Seite der Zunge, so verspürt man einen säuerlichen Geschmack, wenn der vom positiven Pole kommende Draht den oberen Teil der Zunge berührt, im umgekehrten Falle dagegen einen erdigen (alkalischen) Geschmack. Schließt oder öffnet man einen Strom, der durch dem Auge benachbarte Teile fließt, so zeigt sich im Auge ein Lichtschein bei jedem Schließen oder Öffnen des Stromes. Fließt der Strom in der Nähe des Ohres durch Körperteile, so wird ein Sausen wahrnehmbar.

2. Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Wenn ein elektrischer Strom durch einen Leiter fließt, so hat derselbe eine Arbeit zu verrichten; diese Arbeit kann lediglich in der Überwindung des der Fortbewegung der Elektrizität sich entgegensetzenden Widerstandes bestehen. Hierbei wird nun Wärme gebildet. Die gebildete Wärme ist der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft direkt proportional, d. h. sie wird um so größer sein, je größer diese werden. Der elektrische Strom ist imstande, ganz enorme Wärmemengen zu erzeugen, und es werden auch heute, wo uns die Elektrotechnik Ströme jeder Größe zur Verfügung stellt, zahlreiche praktische Anwendungen der Wärmewirkung gemacht. Es sei hier nur an das Ausglühen von Eisendrähten, das Schweißen, das Härten von langen Federn und Sägeblättern, das Schmelzen von Stahl und anderen schwer schmelzbaren Stoffen erinnert.

3. Lichtwirkung des elektrischen Stromes. Wird ein Leiter von verhältnismäßig großem Widerstande, z. B. der Kohlenfaden einer Glühlampe, von einem entsprechend starken Strome durchflossen, so kann eine so bedeutende Wärmemenge gebildet

menschlichen Körper den Tod herbeizuführen. Da der Widerstand des Menschen doch ein ziemlich hoher ist — 10 bis 80000 Ohm — ist auch eine große Spannung nötig, um obigen Wert der Stromstärke hervorzubringen.

werden, daß derselbe zur Weißglut gelangt und weißes Licht aussendet. Ein sehr kräftiges, intensives Licht entsteht, wenn man die Drahtenden einer Stromquelle mit Kohlenspitzen verbindet, diese Spitzen zur Berührung bringt und sie dann vorsichtig voneinander entfernt. Es bildet sich der sog. Davysche Lichtbogen. Er besteht aus kleinen weißglühenden Kohlenteilchen, welche von einer Kohlenspitze zur anderen sich bewegen und so dem Strome einen Übergang möglich machen, gewissermaßen die Brücke bilden von einer Kohle zur anderen. Hierbei verbrennt gleichzeitig die Kohle und muß daher in dem Maße, wie dieselbe abbrennt, nachgeschoben werden. Das auf diese Weise gebildete Licht ist, was seine Stärke anbelangt, abhängig von der Größe des hierzu verwendeten Stromes, wobei selbstredend auch die Kohlen um so dicker genommen werden müssen, je größer die Stromstärke gewählt wird.

Anders sind die Lichtwirkungen, wenn wir es mit hochgespannten Induktionsströmen zu tun haben, auf welche wir später zu sprechen kommen.

4. Chemische Wirkungen des Stromes. Der galvanische Strom bringt in chemisch zusammengesetzten Körpern Veränderungen hervor in dem Sinne, daß dieselben in zwei gesonderte Bestandteile zerlegt werden. Dieser Vorgang, welcher natürlich nur dann stattfinden kann, wenn die betreffenden Körper im flüssigen oder mindestens halbflüssigen Zustande oder in Lösung sind, heißt nach Faraday (1835) Elektrolyse.

So wird z. B. Wasser durch den Strom in seine Grundbestandteile Wasserstoff und Sauerstoff getrennt. Die Elektrolyse findet großartige Anwendung in der Galvanoplastik, Galvanostegie (Überziehen von Körpern mit dünnen Schichten von Metallen, Vernickeln, Verkupfern usw.), sowie zur Gewinnung von Metallen (Aluminium) und Erzeugung chemischer Produkte (Kalziumkarbid) im großen.

Die bisher besprochenen Wirkungen des Stromes sind als solche im Stromkreise selbst hervorgebracht zu bezeichnen. Der elektrische Strom wirkt aber auch auf außerhalb seines eigenen Weges befindliche Leiter der Elektrizität ein. Diese Wirkungen nun sind es vornehmlich, welche uns hier ganz besonders interessieren, weshalb wir auch auf dieselben näher einzugehen haben. Man kann diese Wirkungen des elektrischen Stromes auch als Fernwirkungen bezeichnen, ohne daß wir hierbei an eine Wirkung in die Ferne ohne vorhandenes Medium dazwischen denken wollen, die wir uns einfach nicht vor-

stellen können, sobald wir nur einigermaßen mit physikalischen Gesetzen vertraut sind.

Die Fernwirkungen des Stromes kann man in drei Hauptgruppen teilen und zwar erstens in dynamische (Hervorrufung von Bewegung); zweitens magnetische (Erzeugung von Magnetismus) und drittens in Induktions-Wirkungen (Erzeugung von Strömen durch Ströme).

I. Dynamische Wirkungen (Elektrodynamik). Wenn zwei elektrische Ströme durch Leiter so fließen, daß die betreffenden Leiter in geringer Entfernung voneinander sich befinden und leicht beweglich sind, so beeinflussen sich die Ströme in dem Sinne, daß eine Bewegung der Leiter resultiert.

Die elektrodynamischen Grundgesetze sind in folgenden Sätzen ausgesprochen:

1. Parallele und gleich gerichtete Ströme ziehen einander an.
2. Parallele, entgegengesetzte Ströme stoßen einander ab.
3. Gekreuzte (nicht parallele) Ströme, welche beide nach oder beide von dem Kreuzungspunkte fließen, ziehen einander an.
4. Gekreuzte Ströme, von welchen der eine Strom zur, der andere von der Kreuzungsstelle fließt, stoßen einander ab.

Die folgenden Figuren verdeutlichen dies. Wie aus den zwei Figuren 7 und 8 ersichtlich ist, könnte man auch die beiden Sätze

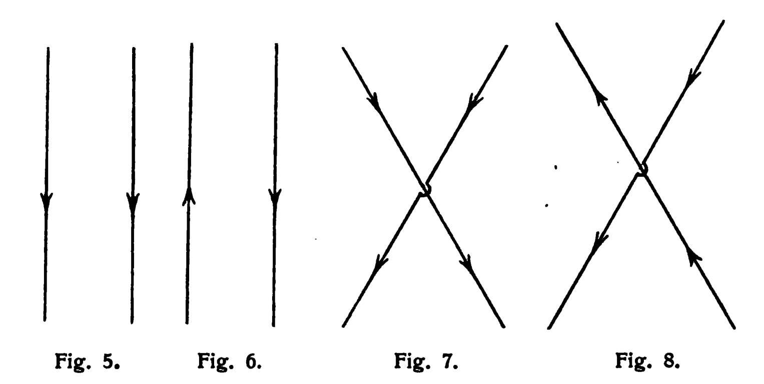


Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

3 und 4 in einen Satz wie folgt formulieren: Gekreuzte Ströme suchen sich parallel zu stellen. Sehr schön kann man obige Sätze mit Hilfe des sog. Ampèreschen Gestelles experimentell nachweisen. Man benötigt hierzu eine Batterie von 2 bis 3 mittleren Grennetschen Tauch-Elementen, da diese einen ziemlich kräftigen Strom geben (Fig. 9 u. 10).

Da die Anfertigung derartiger einfacher Apparate ohne viele Mühe zu bewerkstelligen ist, kann sie nur empfohlen werden, um auf experimentellem Wege sich mit diesen Gesetzen vertraut zu machen. Unsere Elektromotoren beruhen in ihrer Wirkung darauf.

Die Anziehung und Abstoßung der Ströme ist direkt proportional dem Produkte der aufeinander einwirkenden Stromstärken und Stromlängen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Bezeichnen J und J_1 die Stromstärken, l und l_1 die Leiterlängen, d die Entfernung, so wird die Größe der anziehenden oder abstoßenden Kraft F ausgedrückt sein durch die folgende Formel:

$$F = \frac{J J_1 l l_1}{d^2}.$$

Wir ersehen aus obigem, daß die Anziehung oder Abstoßung um so größer sein wird, je größer die Stromstärken, je länger die aufeinander einwirkenden Teile der Stromleiter sind und je geringer die Entfernung der letzteren voneinander ist.

Die Entfernung spielt aber eine große Rolle, da sie nicht im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnisse in Rechnung kommt. Wir wollen dies an einem einfachen Beispiele erläutern. Nehmen wir an, zwei Ströme von der Intensität = 1 (z. B. ein Ampère) wirken in einer Länge = 1 aufeinander ein. Dann ist die anziehende oder abstoßende Kraft = 1 bei einer Entfernung, die wir als 1 annehmen wollen, in der doppelten Entfernung aber nicht ein Halb, sondern ein Viertel in der dreifachen Entfernung nicht ein Drittel, sondern ein Neuntel der ursprünglichen Kraft. Es ist daher sehr wichtig, Leiter, welche durch dieselben durchfließenden Ströme aufeinander einwirken sollen, so nahe als möglich zueinander zu stellen.

Dieses in obiger Formel ausgedrückte Gesetz wird als das elektrodynamische Grundgesetz bezeichnet.

Windet man einen Draht spiralig auf, sodaß sich die einzelnen Windungen nicht berühren, so sind diese zueinander parallel; fließt ein Strom durch die Windungen, so werden die benachbarten Ströme, da sie zueinander parallel sind und in gleicher Richtung fließen, sich anziehen. Hängt man nun eine Drahtspirale so auf, daß das eine Ende in ein Quecksilbernäpfchen taucht, und führt durch dieses der Spirale einen Strom zu, der dieselbe am anderen, oberen Ende verläßt, so zeigt sich die anziehende Wirkung sofort durch Zusammenziehen der Spirale. Hat man dafür gesorgt, daß das untere Ende das Quecksilber eben nur berührt, so entsteht infolge der Zusammen-

ziehung eine Stromunterbrechung; die Anziehung der Windungen untereinander hört auf, und die Spirale nimmt ihre ursprüngliche Länge wieder an, worauf das Spiel von neuem beginnt, sodaß die Spirale auf- und abschwingen wird. Dieser Versuch ist sehr be-

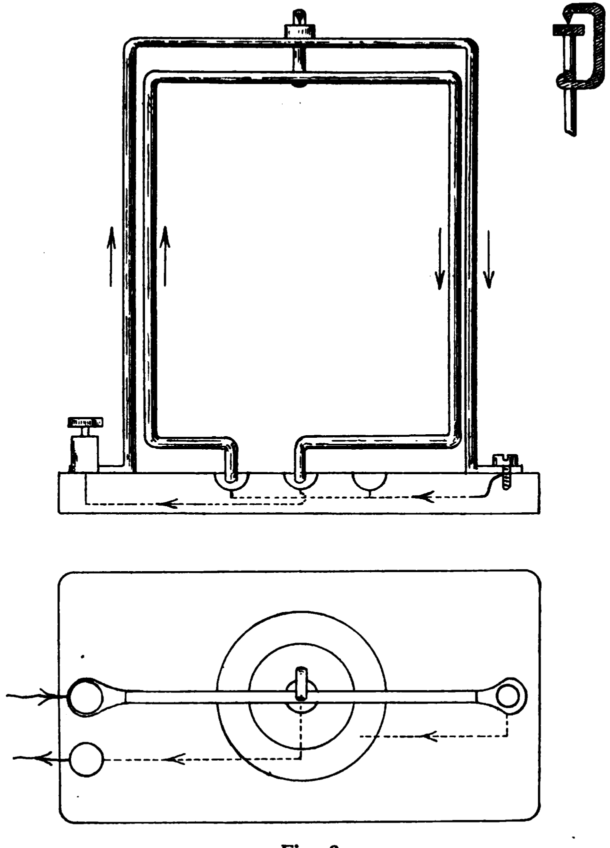


Fig. 9.

lehrend, aber nicht ratsam auszuführen wegen der durch die Funken sich bildenden giftigen Quecksilberdämpfe.

Drahtspiralen von Strömen durchflossen nennt man Solenoide. Bringt man derartige Solenoide beweglich an, sodaß ihre Längsachsen sich in einer horizontalen Ebene drehen können, und bringt zwei so bewegliche Solenoide einander nahe, so kann man folgendes ersehen:

1. Sie stoßen sich an jenen Enden ab, in welchen die Ströme, beide für sich betrachtet, die gleiche Richtung haben; sie haben nämlich in diesem Falle, zueinander betrachtet, die entgegengesetzte Richtung und folgen daher dem Satz 2.

2. Sie ziehen sich an jenen Enden an, in welchen die Ströme, jeder für sich betrachtet, entgegengesetzte Richtung haben; ihre Richtung in bezug aufeinander ist dann dieselbe, und sie folgen daher dem Satze 1.

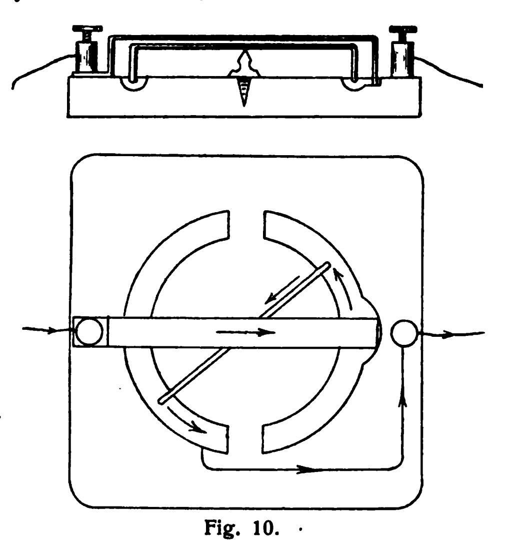


Fig. 10.

Sehr einfach kann man sich dies veranschaulichen, wenn man zwei zylindrische Holzstücke hat, auf welche man mit dem Bleistift eine Schraubenlinie gezeichnet hat. Hält man die beiden Stücke so, daß man die Enden vor sich hat, in welchen die Ströme beide im selben Sinne kreisen, wie z. B. die Zeiger einer Uhr, und stellt dann die Zylinder hintereinander, daß jene Endflächen aufeinander folgen, so sieht man, daß die Ströme entgegengesetzt fließen. (Siehe Fig. 11.)

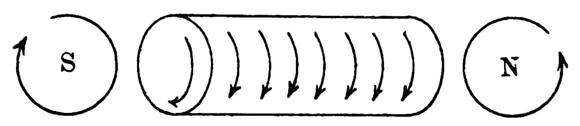


Fig. 11.

Bezeichnet man jene Enden, in welchen der Strom dieselbe Drehrichtung hat, als gleichnamig, jene, in welchen der Strom die entgegengesetzte Drehrichtung hat, als ungleichnamig, so kann man auch sagen: Gleichnamige Solenoid-Enden stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Dieser letzte Satz erinnert uns an die Einwirkung zweier Magnetpole aufeinander und gilt vollkommen für solche, wenn wir das Wort »Solenoid - Enden« durch das Wort »Magnetpole« ersetzen. Wir können daraus den Schluß ziehen, daß Solenoide sich wie

Magnete in ihren Eigenschaften verhalten. Dies wird noch deutlicher durch folgende Beobachtungen:

Stellt man aus einem Kupferdraht ein Solenoid her, dessen Enddrähte durch ein flaches Stück Kork gesteckt werden und mit je einer Zink- und Kupferplatte verbunden werden, setzt das Ganze auf die Oberfläche von verdünnter Schwefelsäure (1 : 20), sodaß die beiden Platten eintauchend ein Volta-Element bilden, dessen Strom durch das Solenoid fließt, so wird man alsbald bemerken, daß sich das Solenoid mit seiner Längsachse in jene Richtung stellt, in welche sich eine frei bewegliche Magnetnadel stets einstellt, das ist in die Süd-Nord-Richtung, also in den magnetischen Meridian. (Fig. 12.) Hierbei befinden sich also die einzelnen Drahtwindungen in einer zum magnetischen Meridian senkrechten Ebene. Wir haben also hier eine Analogie des Solenoids zu einem Magnet, indem ersteres eine Einwirkung von seiten der erdmagnetischen Kraft erfährt, ebenso wie eine Deklinationsnadel, und wenn es sich auch in vertikaler Richtung drehen läßt, wird es sich wie eine Inklinationsnadel verhalten, indem das nach Norden zeigende Ende des Solenoids nach abwärts neigt.

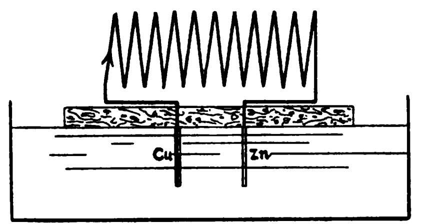


Fig. 12.

Verhalten sich Solenoide untereinander wie Magnete, so sehen wir aber auch weiter, daß Magnete auf Solenoide einwirken und umgekehrt. Nennt man das gegen Norden sich kehrende Ende eines Solenoids Nordpol, das gegen Süden gekehrte Ende Südpol, so kann man die Einwirkung eines Solenoids auf einen Magnet und umgekehrt in dem Satze aussprechen: die Nordpole eines Magnetes und eines Solenoids und ebenso die Südpole beider stoßen einander ab, während die ungleichnamigen Pole der beiden sich anziehen.

Durch diese eben besprochenen Erscheinungen gelangen wir zu dem Schlusse, daß Magnete sich wie Solenoide verhalten, worauf Ampère (1826 und Weber 1846) seine Theorie des Magnetismus gründete, welche wir an dieser Stelle besprechen wollen, da die Kenntnis derselben zum Verständnisse der Wirkungsweise einer Dynamomaschine wesentlich beiträgt.

Nach Ampère ist die Ursache des Magnetismus in elektrischen Strömen, welche im Inneren des Magnets kreisen, zu suchen. Man

denkt sich dies folgendermaßen: Jedes kleinste Eisenteilchen, also jedes Molekül, ist von einem Strome umflossen; beim unmagnetischen Eisen haben nun die Achsen dieser kleinen Ströme, der sog. Elementarströme, alle denkbaren Richtungen, weshalb sie keinerlei Wirkung nach außen üben können. Bei einem Eisenstück aber, das magnetische Eigenschaften zeigt, sind die Achsen aller oder doch der meisten Elementarströme zueinander parallel, weshalb sie in ihrer Gesamtheit so wirken wie ein Strom, der das Eisenstück — den Magnet — umkreisen würde. Solchermaßen ist nun ein Magnet nichts anderes als ein Solenoid. Während nun beim weichen Eisen eine Parallelstellung aller Achsen der Elementarströme sehr leicht möglich ist, z. B. durch die Einwirkung eines um das Eisenstück kreisenden elektrischen Stromes, ist diese bei hartem Stahle nur sehr schwer und nur langsam erreichbar; das weiche Eisen aber verliert mit der Einwirkung des elektrischen Stromes sofort seinen Magnetismus, d. h. die Elementarströme nehmen ihre ursprünglichen Richtungen wieder an, der Stahl dagegen bleibt nun dauernd magnetisch. Wir haben einen permanenten Magnet. Die Elementarströme verbleiben in ihren neuen Richtungen.[1])

Nun lassen sich natürlich leicht alle Wirkungen der Magnete aufeinander als solche von Strömen aufeinander erklären.

Betrachten wir den Südpol eines Magnets, so haben wir nach vorhergehendem uns die Richtung des Stromes, welchen wir an Stelle aller parallelen Elementarströme setzen können, im Sinne der Bewegung des Zeigers einer Uhr zu denken, während uns diese Richtung entgegengesetzt erscheint, sobald wir auf den Nordpol blicken. (Siehe Fig. 11).

Wir wenden uns nun zu einer weiteren Wirkung des elektrischen Stromes außerhalb seines Weges, die sich durch ein Wort ausdrücken läßt:

II. Der Elektromagnetismus. Das Wichtigste hiervon haben wir bereits im obigen gehört, d. i., daß die in einem weichen Eisenstücke vorhandenen Elementarströme durch einen um dasselbe kreisenden Strom parallel gestellt und so nach außen wirksam werden. Einen so hergestellten Magnet bezeichnet man als Elektromagnet. Er besteht daher aus einem weichen Eisen — dem Kerne — und aus einer Spule Kupferdraht um dasselbe. Man macht viele Windungen um die Wirkung zu vergrößern. Ein Elektromagnet hat folgende Eigenschaften:

[1]) Nach dieser Theorie ist nun auch der Erdmagnetismus durch das Kreisen elektrischer Ströme in der Erde um die Achse (Süd- und Nordpolverbindungslinie) ausreichend erklärt, während über die Ursache des Vorhandenseins dieser Ströme verschiedene Ansichten herrschen.

Er verhält sich wie ein Stahlmagnet; er zeigt Polarität, d. h. er hat einen Nord- und Südpol, zieht weiches Eisen an und hält es fest. Diese Eigenschaften hat er jedoch nur, solange der Strom hindurchfließt, im Momente, wo dieser unterbrochen wird, wird das Eisen unmagnetisch; aber auch jede Verstärkung oder Schwächung des Stromes macht sich geltend, indem hierdurch auch die magnetische Kraft des Elektromagnets wächst oder geringer wird. Nach Unterbrechung des Stromes zeigt jedes Eisen eines Elektromagnets noch eine Spur von Magnetismus, den sog. zurückgebliebenen oder remanenten Magnetismus, ohne welchen keine Dynamo bei Ingangsetzung derselben ohne weiteres Strom geben würde, wie wir später noch sehen werden.

Um die Pole eines Elektromagnets zu bestimmen, kann man sich der auf Seite 12 angeführten Regel bedienen oder aber, indem man sich an das oben Gesagte erinnert: Der Südpol ist jener Pol, um welchen der Strom im Sinne des Zeigers einer Uhr kreist.

Wir werden im 5. Kapitel noch Gelegenheit haben, näheres über die Elektromagnete zu sagen, und wenden uns nun zur letzten zu besprechenden Wirkung des Stromes.[1]

III. Die Induktion. Unter Induktion versteht man die Hervorrufung von Strömen durch Ströme in benachbarten Leitern oder im eigenen Leiter und durch Magnete in geschlossenen Leitern. Erstere Art von Induktion wird als Elektro-Induktion, letztere als Magneto-Induktion bezeichnet. Die Gesetze der Induktion lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

A. Elektro-Induktion. 1. Wird in der Nähe eines Leiters ein Strom geöffnet, so entsteht in dem Leiter ein Strom von gleicher Richtung. 2. Wird in der Nähe eines Leiters ein Strom geschlossen, so entsteht in dem Leiter ein Strom von entgegengesetzter Richtung. 3. Wenn man von einem Leiter einen solchen entfernt, in welchem ein Strom fließt, so entsteht in dem ersteren ein Strom von gleicher Richtung. 4. Wenn man einem Leiter einen solchen nähert, in welchem ein Strom fließt, so entsteht ein Strom von entgegengesetzter Richtung. 5. Wird ein Strom verstärkt oder geschwächt, so entsteht im benachbarten Leiter ein Strom von entgegengesetzter, beziehungsweise gleicher Richtung.

---

[1]) Näheres über Elektromagnetismus findet sich in des Verfassers »Die Wechselstrommaschine« (Verlag Oskar Leiner, Leipzig).

B. Magneto-Induktion. 1. Erregt man in der Nähe eines Leiters Magnetismus, so entsteht in diesem ein Strom von entgegengesetzter Richtung wie die der Elementarströme des Magnets. 2. Verschwindet Magnetismus in der Nähe eines Leiters, so entsteht in diesem ein Strom von gleicher Richtung wie die der Elementarströme des Magnets. 3. Nähert man einem Leiter einen Magnet, so entsteht ein Strom von entgegengesetzter Richtung wie die der Elementarströme des Magnets. 4. Entfernt man von einem Leiter einen Magnet, so entsteht ein Strom von gleicher Richtung wie die der Elementarströme des Magnets. 5. Wird in der Nähe eines Leiters Magnetismus verstärkt oder geschwächt, so entstehen Ströme, welche von entgegengesetzter, beziehungsweise gleicher Richtung sind wie die der Elementarströme des Magnets.

Man bezeichnet die erregenden Ströme als Hauptströme oder induzierende Ströme, die durch diese erregten Ströme als Neben-, induzierte oder Induktionsströme. Diese letzteren entstehen nun nicht nur in benachbarten Leitern, sondern auch im Leiter selbst, in welchem ein Strom irgend eine Änderung erfährt: Öffnen oder Schließen, Verstärkung oder Schwächung. Die hierbei auftretenden Ströme bezeichnet man als Extraströme. (Selbstinduktion.)

Die Induktionsströme unterscheiden sich wesentlich von den Hauptströmen: sie sind nur von sehr kurzer Dauer, sobald sie durch plötzliche Einwirkung, wie Öffnen oder Schließen, plötzliches Entstehen oder Verschwinden von Magnetismus entstehen, haben aber eine etwas längere Dauer, sobald sie durch Bewegung, also Nähern oder Entfernen von Strömen oder Magneten entstehen. Wegen ihrer kurzen Dauer ist auch die Wirkung der Induktionsströme keine bedeutende. Ausgenommen, ihre elektromotorische Kraft ist sehr groß, und es fließen Induktionsströme in rascher Aufeinanderfolge durch einen Leiter. Die elektromotorische Kraft der Induktionsströme ist abhängig von der Zahl der Windungen, durch welche der Hauptstrom fließt, sowie von dessen Stromstärke oder von der Stärke des erregenden Magnets.

Zum Nachweise der Induktion bedient man sich am vorteilhaftesten einer Holzspule, welche in vielen Windungen mit feinem Kupferdrahte bewickelt ist. Die Drahtenden verbindet man mit einem sehr empfindlichen Galvanoskop. Weiter bedient man sich zu den Versuchen eines passenden Magnets und einer zweiten Holzspule (mit Eisenkern zur Verstärkung der Wirkung), welche mit einigen Lagen

dicken Drahtes umwickelt und in die Höhlung der ersteren Spule einzuschieben ist. Mit dieser einfachen Vorrichtung, welche man sich mit Leichtigkeit selbst herstellen kann, ist man imstande, alle in obigen Sätzen ausgesprochenen Erscheinungen nachzuweisen.

Nachdem wir nun in groben Zügen die Wirkungen des elektrischen Stromes besprochen, wenden wir uns zu einem weiteren Kapitel, das für uns von besonderer Wichtigkeit ist.

Drittes Kapitel.

Das Ohmsche Gesetz.

Drei Größen sind es, welche miteinander in innigem Zusammenhange stehen und mit welchen wir es zu tun haben, sobald ein Strom durch einen Leiter fließt; dieselben sind: die elektromotorische Kraft, die Stromstärke und der Widerstand. Die elektromotorische Kraft haben wir bereits im zweiten Kapitel als die Ursache der Entstehung des elektrischen Stromes bezeichnet. Das Maß derselben ist das Volt, welches uns die Einheit der elektromotorischen Kraft vorstellt. Um einigermaßen eine Vorstellung von der Größe dieser Einheit zu geben, sei mitgeteilt, daß die elektromotorische Kraft eines Daniellschen Elementes nahezu gleich einem Volt ist; sie ist nämlich gleich 1,06 Volt. Die Stromstärke, d. i. die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fließende Elektrizitätsmenge, messen wir nach Ampère; die Einheit der Stromstärke ist also ein Ampère. Damit man sich eine Vorstellung von dieser Größe machen könne, wollen wir einige Beispiele anführen. Der Strom in einer Haustelegraphenleitung, der die Klingel in Gang setzt, ist 0,3 bis 0,8 Ampère; eine 16kerzige Glühlampe von 50 Volt Spannung benötigt 1 Ampère, eine 1000kerzige Bogenlampe von annähernd derselben Spannung bedarf 10 Ampère. Ein Strom von 1 Ampère oder kürzer gesagt 1 Ampère schlägt in einer Minute 19,384 *mg* Kupfer nieder.

Um aber ein Bild von der Stärke eines Stromes zu haben, genügt es durchaus nicht, bloß zu wissen, wieviel Ampère derselbe hat, denn ein Strom von 1 Ampère und 10 Volt und ein Strom von 1 Ampère

und 100 Volt sind doch ganz anders in ihrer Wirkung und der Größe ihrer Arbeitsleistung. Wir müssen daher stets beide Größen kennen. Erst das Produkt: Ampère mal Volt stellt uns die Größe des Stromes, resp. die Größe der geleisteten Arbeit vor. Dieses Produkt bezeichnet man als Voltampère oder auch als Watt. Ströme nun, welche durch eine gleiche Anzahl von Watts ausgedrückt werden können, sind dem Werte nach einander gleich, in ihrer Wirkung aber nicht immer vom praktischen Standpunkte aus; z. B. sind die beiden Ströme

1 A mal 50 V = 50 W (Watt)
und 50 A mal 1 V = 50 W

dem Werte nach ganz gleich, d. h. sie brauchen zu ihrer Erzeugung genau die gleiche Arbeitsleistung, während umgekehrt beide dieselbe Arbeit wieder leisten können, wenn wir diese Arbeit durch mathematische Formeln zum Ausdrucke bringen. Es sind aber nicht beide Ströme zu einem und demselben Zwecke gleich gut verwendbar; während z. B. der erstere Strom eine Glühlampe zum Glühen bringen wird, wäre dieser Strom für galvanoplastische Zwecke unbrauchbar. Es erfordern eben die verschiedenen Zwecke verschiedene Ströme.

Um also einen Strom seiner Größe nach beurteilen zu können, müssen wir wissen, wieviel Watt derselbe hat; zur Beurteilung aber der Art des Stromes ist es notwendig, die beiden Faktoren, welche das Produkt »Watt« geben, also die Zahl der Ampère und Volt, zu kennen. Z. B. ein Strom = 100 Watt kann sein:

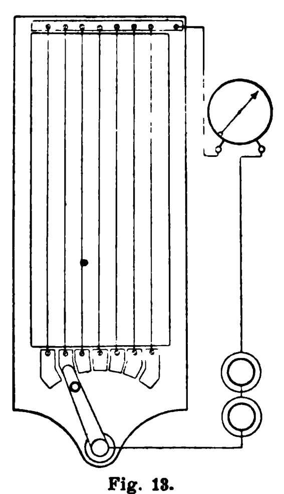
ein	Strom	von	100	Ampère	und	1	Volt	
»	»	»	200	»	»	0,5	»	
»	»	»	50	»	»	2	»	
»	»	»	25	»	»	4	»	
»	»	»	1	»	»	100	»	
»	»	»	0,5	»	»	200	»	usw.

Eine Leistung von 736 Voltampère oder Watt nennt man eine elektrische Pferdekraft. Wenn man elektrische Ströme mit Hilfe von Dynamomaschinen erzeugt, so rechnet man gewöhnlich 550 Watt auf eine aufgewendete Arbeit von einer Pferdekraft (1 PS).[1])

Wenden wir uns nun zu der dritten zu Anfang dieses Kapitels genannten Größe, dem Widerstand. Wenn ein Strom durch einen

[1]) Eine 16kerzige Glühlampe bedarf 50 bis 55 Watt, manche Fabrikate sogar bloß ca. 40 Watt sodaß 10 bis 11 und von letzteren 14 Glühlampen auf die Pferdekraft kommen. Eine Bogenlampe von 1000 Kerzen benötigt nicht ganz eine Pferdekraft: 50 Volt × 10 Ampère = 500 Watt.

Leiter fließt, so hat derselbe einen Widerstand zu überwinden, der von der Art des betreffenden Materials abhängt. Denken wir uns einen Rahmen aus Holz (Fig. 13), auf welchem Drähte ganz gleicher Stärke ausgespannt sind. Jeder Draht sei aus einem anderen Material hergestellt. Alle Drähte sind am oberen Teile des Rahmens mit einer Messingleiste verbunden, die in leitende Verbindung mit dem einen Pole einer Batterie gebracht wird. Die anderen Enden gehen an die im Kreise angebrachten Schleifkontakte. Der Hebel ist mit dem anderen Pole der Batterie verbunden. In den ganzen Stromkreis ist ein Ampèremeter, d. i. eine Vorrichtung, um die Stromstärke direkt in Ampère zu messen, eingeschaltet. Nehmen wir an, daß die einzelnen Drähte der Reihe nach aus folgenden Materialien bestehen: Silber, Kupfer, Aluminium, Zink, Eisen, Blei und Neusilber. Schließen wir nun den Strom, indem wir den Hebel auf 1 stellen, sodaß der Strom durch den Silberdraht fließt. Wir erhalten eine bestimmte Anzeige am Ampèremeter. Wenn wir nun, ohne irgend etwas an der Batterie zu ändern, den Hebel auf 2, 3 usw. stellen, so werden wir, indem wir so nach und nach den Strom durch die einzelnen Drähte senden, ein stetiges Abnehmen der Stromstärke am Ampèremeter beobachten können. Das Umgekehrte natürlich tritt ein, wenn wir wieder zurückgehen: die Stromstärke wird größer. Da sich nun an der Stromquelle nichts geändert hat, so ist es natürlich, daß wir die Ursache außerhalb derselben zu suchen haben, und zwar in dem größeren oder geringeren Widerstande, welchen die verschiedenen Materialien dem Strome bei seinem Durchgange durch dieselben entgegensetzen. In unserem Falle sahen wir, daß Silber den geringsten, Neusilber dagegen den größten Widerstand hat.


Fig. 13.

Wir hatten hier nun gleiche Längen und gleiche Dicken (Querschnitte) vorausgesetzt. Nehmen wir nun statt der verschiedenen Materialien nur eines, irgend ein beliebiges, und stellen hiervon eine Anzahl von Drähten von gleicher Dicke, aber von verschiedenen Längen her. Senden wir nun den Strom der Reihe nach in immer längere Stücke Drahtes, so sehen wir wieder ein Abnehmen der

Stromstärke mit der Zunahme der Länge. Der Widerstand wächst daher mit der Länge. Wenn wir endlich eine Versuchsreihe anstellen und abermals Drähte gleichen Materials und gleicher Länge wählen, die Querschnitte aber von Draht zu Draht kleiner machen, also immer dünnere Drähte wählen, so werden wir nach den Angaben unseres Instrumentes zu dem Schlusse kommen, daß der Widerstand zunimmt, indem der Querschnitt kleiner wird.

Fassen wir nun die gemachten Erfahrungen zusammen, so läßt sich eine Formel leicht daraus herstellen. Bedeutet C den Widerstand des betreffenden Materials für 1 *m* Länge und 1 *qmm* Querschnitt, l die Länge des Drahtes in Metern, q den Querschnitt desselben in Quadratmillimetern, so ist der Gesamtwiderstand W:

$$W = C \frac{l}{q}.$$

Diese Formel faßt nun alle vorher besprochenen Punkte zusammen und lautet in Worten ausgedrückt:

Der Widerstand ist abhängig von der Art des Materials und ist direkt der Länge, umgekehrt dem Querschnitt proportional.

Die Einheit des Widerstandes ist nun das Ohm; ein Ohm ist nahezu gleich dem Widerstande eines Quecksilberfadens von 1 *m* Länge und 1 *qmm* Querschnitt. 47,14 *m* käuflichen Kupferdrahtes von 1 *mm* Durchmesser haben einen Widerstand von 1 Ohm. Ein Kupferdraht von 1 *m* Länge und 1 *qmm* Querschnitt hat 0,018 Ohm = C in obiger Formel. Man nennt diese Zahlen, welche also den Widerstand eines Materials für die Länge = 1 *m* und den Querschnitt = 1 *qmm* angeben, die spezifischen Widerstände der betreffenden Materialien. Diese Werte findet man für die verschiedenen Materialien zusammengestellt in allen Taschenbüchern.[1])

Wir haben nun die drei zu Anfang dieses Kapitels als wichtig bezeichneten Größen kennen gelernt und wollen uns nun zur Besprechung ihres Zusammenhanges wenden. Letzterer ist durch das sog. Ohmsche Gesetz in einfacher und äußerst klarer Weise gegeben.

---

[1]) Biscan, »Formeln und Tabellen für Elektrotechniker«, S. 62 u. f. der 5. Aufl., Verlag von Oskar Leiner in Leipzig. Preis geb. ℳ 1,50.

Die Größe 0,018 ist gleich $\frac{1}{55}$ als gemeiner Bruch dargestellt. Nach den Vorschriften d. Verb. deutsch. Ingenieure setzt man bei allen Berechnungen für Kupfer $C = \frac{1}{60}$.



Das Ohmsche Gesetz, das Alpha und Omega für die ganze Elektrotechnik, lautet wie folgt:

Die Stromstärke ist der elektromotorischen Kraft direkt und dem Widerstande umgekehrt proportional. Dieser Satz drückt sich in einer Formel folgendermaßen aus:

$$J = \frac{E}{W},$$

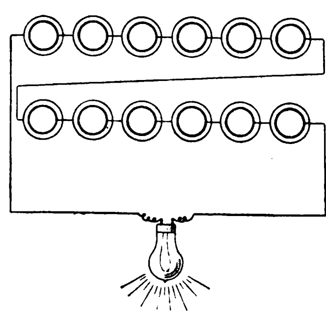
wobei J die Stromstärke (in Ampère), E die elektromotorische Kraft (in Volt) und W den Widerstand (in Ohm) bedeuten.

Dieser Satz sagt uns also, daß durch eine Erhöhung der elektromotorischen Kraft und die Verringerung des Widerstandes die Stromstärke wächst, dagegen kleiner wird, sobald die erstere sinkt oder der Widerstand größer wird.

Haben wir also eine gegebene elektromotorische Kraft, so können wir eine um so größere Stromstärke erreichen, je kleiner der Widerstand wird. Aus obigem Satze ergibt sich einfach:

$$1)\ W = \frac{E}{J} \text{ und } 2)\ E = JW.$$

Wir wollen nun auf Grund des Ohmschen Gesetzes die Stromverhältnisse in den Leitungen näher besprechen. Wenden wir vor allem das Ohmsche Gesetz auf galvanische Elemente an; es erleichtert uns dies ganz wesentlich das Verständnis.


Fig. 14.

Wir können galvanische Elemente auf dreierlei Art zu einer Batterie verbinden, und zwar 1) alle Elemente hintereinander; 2) alle Elemente nebeneinander, und 3) gemischt, d. h. eine gewisse Anzahl hintereinander und mehrere solcher Gruppen nebeneinander oder umgekehrt.

1. Die Hintereinanderschaltung. Man bezeichnet diese Art von Schaltung, bei welcher immer der + Pol eines Elementes mit dem — Pol des nächsten verbunden wird, auch als Reihen- oder Serienschaltung oder auch als Schaltung auf Intensität. (Fig. 14.) In diesem Falle erhalten wir eine elektromotorische Kraft E, welche an den Polklemmen der Batterie gemessen wird, gleich der eines Elementes (e) multipliziert mit der Anzahl (n) der hintereinander geschalteten Elemente, also $E = n \cdot e$. Der innere Widerstand der Batterie

wird aber ebenfalls n mal so groß sein als der eines einzelnen Elementes also W = n · w. Diese Schaltung wendet man an, wenn der äußere Widerstand, also der der Leitung, sehr groß ist, so z. B. in der Telegraphie, Telephonie, bei elektrischen Uhrenanlagen und dergl. und überhaupt in allen Fällen, wo man eine höhere Spannung durch Verbindung mehrerer Elemente zu einem Ganzen erreichen will.

2. Die Nebeneinander- oder Parallelschaltung oder auch Schaltung auf Quantität. In diesem Falle werden alle positiven Pole untereinander und ebenso alle negativen Pole untereinander verbunden. Die elektromotorische Kraft E ist in diesem Falle gleich e, derjenigen also, welche ein einzelnes Element[1]) hat. Der innere Widerstand wird jedoch bedeutend vermindert; er ist bei n Elementen nur der n-te Teil desjenigen eines Elementes. Dies wird uns klar, wenn wir uns an das Ohmsche Gesetz erinnern; wir sagten dort, daß der Widerstand umgekehrt proportional dem Querschnitte sei. Wenn nun der Widerstand eines Elementes w ist und wir den Querschnitt dadurch vergrößern, daß wir alle +Platten verbinden, also gewissermaßen dafür eine n mal so große Platte nehmen und dasselbe mit der negativen Platte tun, so muß auch der Widerstand nur $\frac{1}{n}$ des ursprünglichen sein.

Dadurch nun, daß der Widerstand so bedeutend verringert wird, erhalten wir eine große Stromstärke. Man wird diese Schaltung in allen Fällen anwenden, wo viel Strom, wenn auch von geringer Spannung, benötigt wird, so z. B. zu galvanoplastischen Arbeiten, zum galvanischen Glühen usw.

3. Die gemischte Schaltung. Die erste Schaltung ergibt uns Ströme von großer Spannung, aber geringer Stromstärke, die zweite aber einen Strom, bei welchem das umgekehrte der Fall ist. Nun tritt aber der Fall viel öfter ein, daß man Ströme benötigt, deren Spannung größer ist als die eines einzigen Elements bei größerer Stromstärke. Da genügt nun keine der beiden Schaltungsweisen; wir müssen beide Schaltungsweisen kombinieren. Nehmen wir den Fall, daß uns sechs Elemente gleicher Art zur Verfügung stehen. Wir schalten hiervon je drei Elemente hintereinander, diese beiden

[1]) Ich möchte aufmerksam machen, daß man unter »Element« nicht gerade ein »galvanisches Element« verstehen muß; als Elemente können wir irgend welche Vorrichtungen bezeichnen, welche Strom und Spannung erzeugen oder auch verbrauchen.



Gruppen aber zueinander parallel. Wir erhalten die elektromotorische Kraft = 3e für jede der hintereinander geschalteten Elementengruppen; sie bleibt aber 3e, wenn wir diese Gruppen parallel zueinander schalten. Der Widerstand der ganzen Kombination findet sich folgendermaßen: jede Gruppe hat einen Widerstand von 3w, die ganze Kombination aber $\frac{3w}{2}$, da die Gruppen nebeneinander geschaltet sind.

Zum leichteren Verständnisse sei ein Beispiel hier angeführt. Gegeben seien zwölf Bunsen-Elemente; die elektromotorische Kraft eines Elementes sei 1,9 Volt, der Widerstand eines Elementes 0,12 Ohm. Welche Stromstärken erhalten wir bei verschiedenen Schaltungsweisen? Vor allem wollen wir unsere Formel $J = \frac{E}{W}$ etwas abändern, indem wir für W schreiben w + W, wobei wir unter w den inneren, unter W den äußeren Widerstand verstehen wollen. Die Formel lautet dann:

$$J = \frac{E}{w + W}.$$

Nun wollen wir die Elemente kombinieren:

1. Alle zwölf Elemente hintereinander geschaltet; wir wollen damit eine Glühlampe zu 16 Kerzen speisen. Da wir bei zwölf Elementen in diesem Falle eine elektromotorische Kraft von

$$12 \times e = 12 \times 1,9 = 22,8$$

erhalten, so müssen wir auch eine Glühlampe von ungefähr dieser Spannung wählen; nehmen wir eine solche von 22 Volt, so hat dieselbe einen Widerstand von 8,4 Ohm. Der innere Widerstand der Batterie wird gleich dem zwölffachen eines Elementes sein; wir haben daher die Stromstärke:

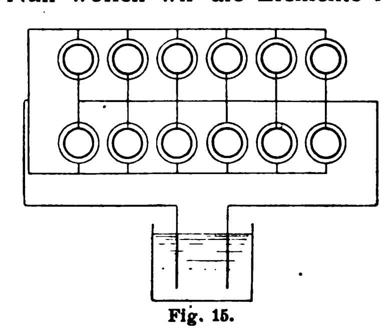


Fig. 15.

$$J = \frac{12e}{12w + W} = \frac{12 \times 1,9}{12 \times 0,12 + 8,4} = \frac{22,8}{9,8} = 2,3 \ldots . \text{ Ampère.}$$

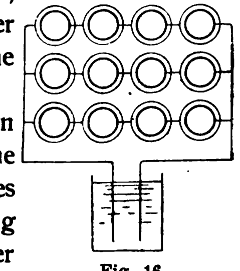
Das ist nun auch das Erfordernis der Glühlampe an Strom. (Siehe Fig. 14.)

2. Alle zwölf Elemente parallel (Fig. 15). Wir wollen mit diesem Strome ein Bad beschicken, in welches wir Gegenstände zur Verkupferung eingehängt haben. Hierzu bedürfen wir einer großen Stromstärke, aber sehr geringer Spannung. In unserer Formel haben

wir nun zu setzen: für E = e = 1,9, da alle Elemente parallel sind; der innere Widerstand w ist aber nur der 12. Teil desjenigen eines Elementes, also $\frac{0,12}{12}$. Der äußere Widerstand sei hier gleich 0,1 Ohm. Die Formel gestaltet sich nun wie folgt:

$$J = \frac{1,9}{\frac{0,12}{12} + 0,1} = \frac{1,9}{0,11} = 17,3 \text{ Ampère.}$$

3. Wir hätten nun eine galvanische Vergoldung vorzunehmen in einem Bade, dessen Widerstand = 1 Ohm wäre; zur Vergoldung ist aber eine Spannung von 7 bis 8 Volt notwendig. Wollen wir nun unsere zwölf Elemente dazu verwenden, so müssen wir dieselben so schalten, daß die elektromotorische Kraft ungefähr 7 bis 8 Volt wird. Diese erhalten wir, wenn wir vier Elemente hintereinander schalten. Machen wir dies mit je 4, so erhalten wir drei Gruppen zu je vier hintereinander geschalteten Elementen; diese drei Gruppen wollen wir nun nebeneinander schalten, wie es die Fig. 16 zeigt. Welche Stromstärke resultiert?


Fig. 16.

Wir haben in unserer Formel einzusetzen für E 4 × e, also 4 · 1,9, da die elektromotorische Kraft jeder Gruppe gleich der vierfachen eines Elementes ist, dieselbe aber bei Parallelschaltung der drei Gruppen unverändert bleibt. Der gesamte innere Widerstand bildet sich wie folgt: Vier Elemente hintereinander geben 4 w (wenn w den Widerstand eines Elementes bedeutet). Jede Gruppe fassen wir nun wie ein Element auf und schalten diese Gruppen parallel; hierdurch wird der Widerstand = $\frac{1}{3}$ von dem einer Gruppe, also gleich

$$\frac{4w}{3} = \frac{4 \cdot 0,12}{3}.$$

Die Formel ergibt demnach:

$$J = \frac{4e}{\frac{4w}{3} + W} = \frac{4 \cdot 1,9}{\frac{4 \cdot 0,12}{3} + 1} = \frac{7,6}{0,16 + 1} = 7,6 : 1,16 = 6,5 \ldots \text{A.}$$

In dieser Weise können wir zu diversen Zwecken unsere zwölf Elemente beliebig kombinieren. Die kleinste elektromotorische Kraft erhalten wir, wenn wir alle Elemente parallel, die größte, wenn wir

alle hintereinander schalten. Die übrigen Kombinationen ergeben der Reihe nach 2 × 1,9 Volt (2 hintereinander zu sechs Gruppen parallel), 3 × 1,9 Volt (3 hintereinander zu vier Gruppen parallel), 4 × 1,9 Volt (4 hintereinander zu drei Gruppen parallel) usw.

Es sei hier eine kleine Bemerkung über die Schaltung der Akkumulatoren am Platze. Wir sehen nämlich sehr selten parallel geschaltete Akkumulatoren in der Praxis, besonders nicht bei kleineren Anlagen, wo sie fast stets nur in Reihenschaltung zur Verwendung kommen. Der Grund liegt darin, daß die Akkumulatorenfabriken verschiedene Größen von Akkumulatoren in den Handel bringen, welche bereits parallel geschaltete Elemente vorstellen. Dies ist nämlich so zu verstehen: in einem Gefäße befindet sich eine große Anzahl von Platten, von welchen alle positiven und alle negativen untereinander verbunden sind. Denken wir uns, ein Akkumulator habe im ganzen zwölf Platten, von welchen je sechs miteinander verbunden sind, so ist dies dasselbe, als ob wir sechs Elemente zu je zwei Platten parallel geschaltet hätten.

Eben in der Weise, in welcher man Elemente hintereinander, also auf Spannung, und parallel, also auf Strommenge schalten kann, ist dies mit Dynamomaschinen möglich. Hier ist jedoch der Fall der Parallelschaltung weit häufiger.

Gerade so, wie man nur Elemente von gleicher Spannung parallel schalten kann, können auch nur dann Dynamomaschinen parallel geschaltet werden, wenn sie dieselbe Spannung haben. Es ist daher unumgänglich notwendig, parallel zu schaltende Maschinen zuerst auf gleiche Spannung zu bringen, bevor man die beiden Ströme auf eine Leitung arbeiten läßt, und sodann muß auch während des Betriebes für Erhaltung gleicher Spannung auf beiden (oder mehreren parallel geschalteten) Maschinen gesorgt werden.

Sollen jedoch Dynamomaschinen zur Erhöhung der Spannung hintereinander geschaltet werden, so müssen dieselben gleiche Stromstärke hervorbringen.

Wir haben bisher von der Schaltung der Generatoren — der Stromerzeuger — gesprochen, also gewissermaßen der Schaltung im inneren Stromkreise; wir wenden uns nun zu derjenigen im äußeren Stromkreise.

A. Hintereinanderschaltung. Was immer wir in eine Leitung schalten, seien es Glühlampen, Bogenlampen, elektrische Motoren, galvanische Bäder oder andere Apparate zu verschiedenen Zwecken, so

stellt uns das betreffende Objekt einen vom Strome zu überwindenden Widerstand vor, weshalb wir auch allgemein von eingeschalteten Widerständen sprechen können.

Jeder Widerstand verbraucht zu seiner Überwindung Spannung. Wenn wir daher eine Reihe von Widerständen hintereinander schalten, so benötigen wir einen Strom von ebenso großer Spannung, als die Summe aller für jeden einzelnen Widerstand notwendigen Spannungen beträgt. Hierbei sei aber ausdrücklich hervorgehoben, daß die elektromotorische Kraft des Generators stets um einen gewissen Betrag größer sein muß als jene Spannung. So sind wir denn hier ganz einfach auf den Unterschied zwischen elektromotorischer Kraft und Spannung gelangt. Im Grunde genommen sind beide dasselbe; wenn wir aber von elektromotorischer Kraft sprechen, so meinen wir damit diejenige des Generators, welche, wie bereits gesagt, um etwas größer ist als die Spannung im äußeren Stromkreise. Jene Differenz zwischen elektromotorischer Kraft am Generator und der Spannung im Stromkreise ist diejenige elektromotorische Kraft, welche zur Überwindung des inneren Widerstandes, des Widerstandes in der Maschine, verbraucht wird. So wird man beispielsweise hören: eine Dynamomaschine hat eine elektromotorische Kraft von 102,5 Volt — im äußeren Stromkreise herrscht eine Spannung von 100 Volt. Den ersteren Wert bezeichnet man auch als Klemmenspannung (Potentialdifferenz an den Polen der Maschine).

Gehen wir nun zu dem vorhin Gesagten: es sei eine Reihe von Widerständen hintereinander geschaltet. Die Gesamtspannung ist also die Summe der einzelnen Spannungen. Es ist nun gleichgültig, ob die einzelnen Widerstände untereinander derselben oder verschiedener Spannung bedürfen; nicht so ist es aber mit der Stromstärke. Diese muß für alle dieselbe sein, da ja im ganzen einfachen Stromkreise nur eine Stromstärke herrschen wird. Schaltet man beispielsweise Glühlampen hintereinander, so können dieselben von verschiedener Kerzenstärke sein. Da aber alle dieselbe Stromstärke haben müssen, d. h. durch alle wird der Strom von der Stärke x Ampère fließen, so ist es einleuchtend, daß die Lampe von höherer Kerzenstärke auch eine größere Spannung benötigen wird. Nach diesem System hat man besonders in Amerika viele Beleuchtungsanlagen ausgeführt. In Europa gibt es nur sehr vereinzelt derartige Anlagen.[1])

[1]) Bernstein in Hamburg befaßte sich einige Zeit mit Installationen nach diesem System.



Gern schaltet man Bogenlampen hintereinander, wo es tunlich, da dieses sehr rationell ist. Die Fig. 17 gibt uns ein Bild einer Anlage mit hintereinander geschalteten Glühlampen, Bogenlampen und einem Motor. Wir werden noch Gelegenheit haben, die Hintereinanderschaltung bei der reinen Dynamomaschine zu besprechen.

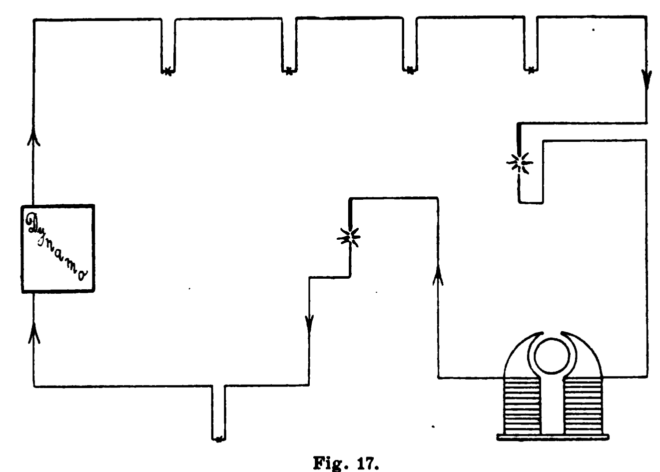


Fig. 17.

B. Parallelschaltung im äußeren Stromkreise. Stromverzweigung. Teilt sich ein Stromweg in irgend einem Punkte in zwei oder mehrere Teile, die sich wieder vereinigen, so ist es klar, daß durch jeden Zweig ein Teil des Hauptstromes fließen wird. Nehmen wir an, daß die beiden Zweige i_1 w_1 und i_2 w_2 in der Fig. 18 gleiche Länge und gleichen Querschnitt haben und aus demselben Materiale bestehen, also kurz gesagt denselben Widerstand besitzen, so wird auch durch jeden Zweig eine gleiche Menge des Gesamtstromes, in unserem Falle also je die Hälfte, fließen. Denken wir uns aber, daß die Zweigwiderstände verschieden sind, so wird es uns auch begreiflich sein, daß die in den einzelnen Zweigen vorhandenen Stromstärken ungleich sind. In dem Zweige, in welchem der größere Widerstand herrscht, wird auch nur ein kleinerer Teil des Stromes fließen.

Die Stromstärken in den einzelnen Zweigen werden sich umgekehrt verhalten wie die Widerstände. Bezeichnen i_1 i_2 die bezüglichen Stromstärken, w_1 w_2 die Widerstände der Zweige, so können wir schreiben: $i_1 : i_2 = w_2 : w_1$, und wenn mehrere Zweige vorhanden sind:

$$i_1 : i_2 : i_3 \cdots : i_n = w_n : \cdots w_3 : w_2 : w_1.$$

Die Summe der Stromstärken in den Zweigen wird natürlich gleich sein der Stromstärke in der Hauptleitung:

$$J = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots$$

Aus der oben aufgestellten Proportion $i_1 : i_2 = w_2 : w_1$ folgt auch $i_1 w_1 = i_2 w_2$ für zwei Zweige und analog für n Zweige $i_1 w_1 = i_2 w_2 = i_3 w_3 = \cdots\cdots\cdots = i_n w_n$. Nach dem Ohmschen Gesetze $(J = \frac{E}{W})$ ist aber $E = J \cdot W$. Da nun alle Produkte i w in den Stromzweigen einander gleich sind, diese Produkte aber gleich dem Werte der Spannung sind, so sagt uns dies, daß überall dieselbe Spannung herrschen wird. Man bezeichnet daher auch dieses System als Gleichspannungssystem und die hierfür bestimmten Dynamomaschinen als Gleichspannmaschinen oder Maschinen für konstante Spannung.

Während wir bei Reihenschaltung durchaus an keinem Teile der Leitung eine Unterbrechung herbeiführen dürfen und im Falle der Ausschaltung eines Widerstandes vorher oder gleichzeitig eine Nebenschließung herstellen müssen, ist dies beim System der Stromverzweigung nur in bezug auf den Hauptleiter gültig, während man in den Zweigen wirkliche Unterbrechungen der Leitungen herbeiführen muß, um einen Widerstand auszuschalten. Es ist hier absolut nicht statthaft, einen Zweig ohne Widerstand, resp. mit außerordentlich geringem Widerstand, also z. B. nur durch ein kurzes Stück Kupferdraht, zu bilden, da hierdurch beispielsweise alle in andere Zweige eingeschaltete Lampen verlöschen würden. Die Erklärung hierfür ist eine sehr einfache. Wir wissen, daß sich die durch die einzelnen Zweige fließenden Ströme umgekehrt wie die Widerstände derselben verhalten. Während nun jede Lampe z. B. 100 Ohm Widerstand hat, ist der Widerstand in dem den Zweig bildenden Kupferdrahte im Verhältnisse unendlich klein. Die Folge ist, daß durch denselben fast der ganze Strom des Generators fließt und der die Lampen durchfließende unendlich gering wird; gleichzeitig wird aber die Spannung auf ein Minimum sinken, und die Maschine scheint stromlos zu werden. Man nennt die Bildung einer solchen fast widerstandslosen Verbindung einen Kurzschluß.

Eine einzelne Verzweigung wird auch häufig als Nebenschluß oder Shunt (engl., sprich schönt) bezeichnet. In Fig. 18 ist eine Reihe von Stromverzweigungsbeispielen gegeben.

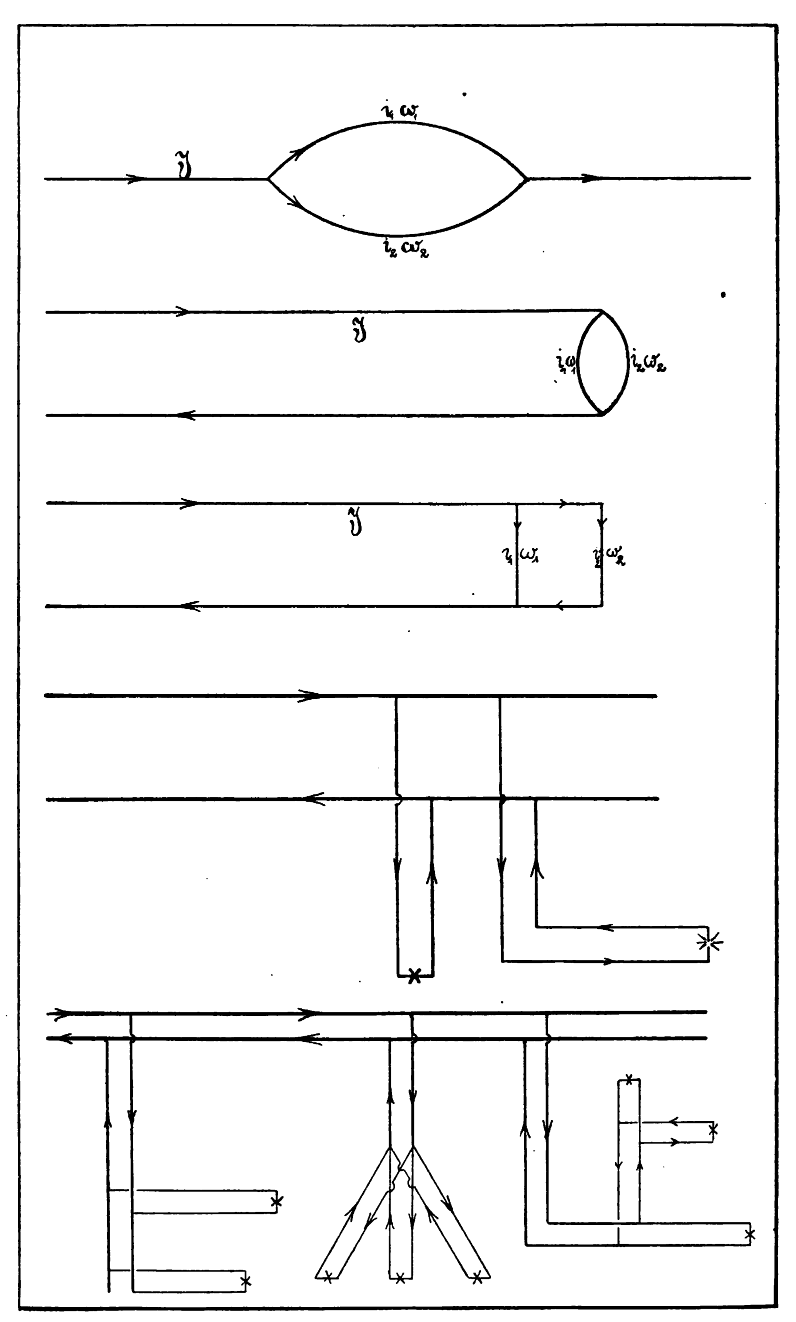

$i_1\,w_1$
$\mathfrak{J}$
$i_2\,w_2$
$\mathfrak{J}$
$i_1\,w_1$
$i_2\,w_2$
$\mathfrak{J}$
$i_1\,w_1$
$i_2\,w_2$

Fig. 18.

Im einfachen Stromkreise, in welchem sämtliche Widerstände hintereinander geschaltet sind, wird der Gesamtwiderstand gleich der Summe der einzelnen Widerstände sein.

Nicht so ist es im verzweigten Stromkreise oder, wie man auch sagen kann, bei der Parallelschaltung.

Nehmen wir den Fall an, daß sich ein Strom in zwei Zweige teilt, deren Widerstände untereinander gleich sind. Dann folgt nach dem Satze $i_1 : i_2 = w_2 : w_1$, daß $i_1 = i_2$ ist. Der gesamte Widerstand der Verzweigung ist in diesem Falle nur $\frac{w}{2}$, d. h. die Hälfte des Widerstandes einer Verzweigung. Dies erscheint im ersten Augenblick paradox, doch wird es uns durch eine einfache Überlegung klar werden. Nehmen wir einen einfachen Stromkreis, in dem ein Widerstand w eingeschaltet ist, z. B. eine Glühlampe von 200 Ohm Widerstand. Der im Kreise vorhandene Strom sei 0,5 Ampère. Nun schalten wir eine zweite Glühlampe von derselben Art parallel zur ersten; wir finden den im Hauptstromkreise fließenden Strom gleich 1 Ampère = 2 · 0,5 Ampère, d. h. in jedem Zweige fließt ein Strom von 0,5 Ampère. Würden wir nun diese beiden Stromzweige, welche je einen Widerstand von 200 Ohm besitzen, durch einen einzigen Widerstand ersetzen wollen, um denselben Strom von 1 Ampère zu erlangen, so müßten wir einen Widerstand von bloß 100 Ohm $= \frac{200}{2}$ einschalten: also $\frac{w}{2}$. (Dies folgt einfach aus dem Ohmschen Gesetze; wir haben eine Lampe angenommen, deren Spannung 100 Volt ist. Dann haben wir $J = \frac{E}{W} = \frac{100}{200} = 0{,}5$ Ampère,

$$\text{resp. } J = \frac{100}{100} = 1 \text{ Ampère.)}$$

Schalten wir nun zehn solcher Lampen in parallele Abzweigungen, so finden wir die Stromstärke im Hauptleiter gleich 5 Ampère. Fragen wir uns nun, durch welchen einzigen Widerstand wir die sämtlichen Lampen zu ersetzen hätten, um 5 Ampère Strom zu erhalten, so finden wir nach $W = \frac{E}{J}$; $W = \frac{100}{5} = 20$ Ohm, das ist aber der zehnte Teil des Widerstandes einer Lampe. Wir folgern hieraus den Satz: Sind gleiche Widerstände parallel geschaltet, so ist der Gesamtwiderstand gleich dem einer Verzweigung dividiert durch

die Anzahl der parallel geschalteten Widerstände. Mathematisch finden wir dies, indem wir die reziproken Werte der Widerstände addieren; z. B. fünf Widerstände vom Werte w:

$$\frac{1}{w} + \frac{1}{w} + \frac{1}{w} + \frac{1}{w} + \frac{1}{w} = \frac{1}{W}$$

$$\text{oder } \frac{5}{w} = \frac{1}{W} \text{ und daraus } W = \frac{w}{5}.$$

Den reziproken Wert eines Widerstandes bezeichnet man als »Leitung«.

Allgemein gefaßt gilt der Satz:

»Die (Gesamt-) Leitung ist gleich der Summe der Leitungen«,

oder: $$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4} \cdots,$$

woraus sich leicht der Gesamtwiderstand berechnet.

$$W = \frac{w_1\, w_2\, w_3\, w_4}{w_2\, w_3\, w_4 + w_1\, w_3\, w_4 + w_1\, w_2\, w_4 + w_1\, w_2\, w_3}.$$

Zum leichteren Verständnis sei hier ein Beispiel angeführt, das auch den Unterschied zwischen Hintereinanderschaltung und Parallelschaltung in bezug auf den Widerstand deutlich zeigen soll.

Es seien vier Widerstände gegeben und zwar von 10, 30, 50 und 100 Ohm; wie groß ist der Gesamtwiderstand bei beiden Schaltungsweisen?

A. Hintereinanderschaltung.

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 10 + 30 + 50 + 100 = 190 \text{ Ohm}.$$

B. Parallelschaltung. Hier finden wir also den Widerstand W durch Anwendung des Satzes der »Leitung«.

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4} \text{ und } W =$$

$$= \frac{w_1\, w_2\, w_3\, w_4}{w_2\, w_3\, w_4 + w_1\, w_3\, w_4 + w_1\, w_2\, w_4 + w_1\, w_2\, w_3} =$$

$$= \frac{10 \cdot 30 \cdot 50 \cdot 100}{30 \cdot 50 \cdot 100 + 10 \cdot 50 \cdot 100 + 10 \cdot 30 \cdot 100 + 10 \cdot 30 \cdot 50} =$$

$$= \frac{1500000}{245000} = 6{,}1 \cdots \text{ Ohm}.$$

Das Verständnis dieser Verhältnisse erleichtert ungemein dasjenige für die Konstruktion und Wirkungsweise der Dynamomaschinen, und wir können uns daher jetzt zur Besprechung derselben wenden.

Viertes Kapitel.

Die stromerzeugenden Maschinen.

Es würde über den Rahmen dieses Buches hinausgehen, wenn wir auf die historische Entwickelung der stromerzeugenden Maschinen — so interessant es auch wäre — näher eingehen wollten. Wir wollen hier nur jene maschinelle Vorrichtung näher kennen lernen, welche man als die erste, wenn auch einfachste Form einer stromgebenden Maschine betrachten kann, um dann die einzelnen Grundtypen der modernen Maschinen kennen zu lernen.

Alle Vorrichtungen, welche durch mechanische Arbeit, d. h. also durch Kraft und Bewegung, elektrische Ströme von der Art, wie galvanische Elemente sie geben, hervorbringen, beruhen auf der Induktionswirkung von Magneten auf bewegte Stromleiter.

Entweder sind es permanente oder Stahl-Magnete, welche induzierend wirken, oder aber Elektromagnete. Letztere wieder können den den Magnetismus erregenden Strom von einer besonderen, außerhalb der Maschine selbst liegenden Stromquelle erhalten oder denselben als einen Teil des durch sie selbst erzeugten Stromes zugeführt erhalten. Darnach teilt man die Maschinen ein in

1. Magnetelektrische Maschinen;
2. Maschinen mit separater Erregung der Magnete und
3. Dynamoelektrische Maschinen.

Je nachdem der erzeugte Strom ständig dieselbe Richtung beibehält, oder seine Richtung in der Zeiteinheit, z. B. in einer Sekunde, mehr oder weniger oft wechselt, teilt man auch die Maschinen ein in:

1. Gleichstrommaschinen und
2. Wechselstrommaschinen.

Die erste maschinelle Vorrichtung, um elektrische Ströme zu erzeugen, verdanken wir Pixii, welcher im Jahre 1832 die erste magnetelektrische Maschine konstruiert hat. Dieselbe bestand aus zwei mit weichen Eisenkernen versehenen Drahtspulen, welchen gegenüber ein Hufeisenmagnet angebracht wurde (Fig. 19), welch letzterer in rasche Rotation um die Achse ab gebracht werden konnte. Durch das Nähern und Entfernen der Magnetpole an, beziehungsweise von den Spulen und deren Eisenkernen entstehen durch Induktion Ströme in den Spulen, welche, wie eine einfache Betrachtung ergibt, von

wechselnder Richtung sind. Es findet bei jeder vollen Umdrehung ein zweimaliger Wechsel der Stromrichtung statt.

Durch eine einfache Vorrichtung, Kommutator genannt, kann man diese Ströme gleich richten. Die Fig. 20 gibt ein Schema des Kommutators. Derselbe besteht aus zwei zum Teil ausgeschnittenen Zylindern aus Messing, welche isoliert auf einer Welle sitzen und auf welchen Zu- resp. Ableitungsstreifen federnd schleifen.

Bedeutend verbessert hat diese Maschine — welche übrigens heute noch bei jedem Mechaniker zu Zwecken der Elektrisierung käuflich ist — Stöhrer im Jahre 1843. Einerseits ließ er die verhältnismäßig leichteren Spulen rotieren, während die Magnete fest standen, und

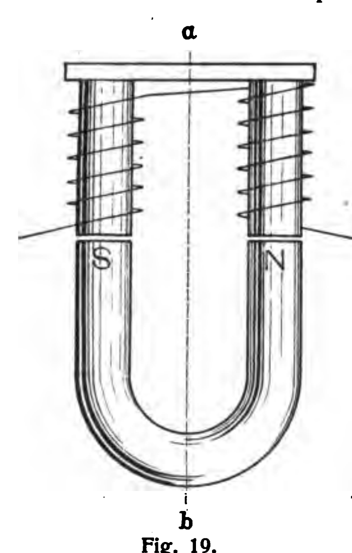


Fig. 19.

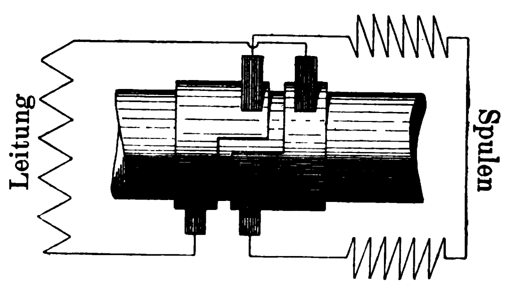


Fig. 20.

anderseits vermehrte er die Zahl der Spulen und demgemäß auch die der Magnete. Seine Maschine bestand aus sechs Spulen an einer Scheibe befestigt. Diesen Spulen gegenüber befanden sich die sechs Pole von drei Magneten mit alternierenden Polen: N, S, N, S, N, S. Mit Hilfe eines Kurbelrades mit Schnurlauf wurden die sechs Spulen in rasche Rotation versetzt. Ein dem früher besprochenen ähnlicher Kommutator besorgte die Gleichrichtung und Sammlung der entstehenden Ströme.

Im großen wurde die Maschine von der Gesellschaft Alliance in Paris ausgeführt, dieselbe ist unter dem Namen Alliance-Maschine sehr bekannt. Man war mit derselben imstande — allerdings mit bedeutenderem Kraftaufwande, als dies heute mit unseren Dynamos geschieht — elektrisches Licht zu erzeugen. Die Alliance-Maschinen fanden auf Leuchttürmen zur Erzeugung kräftiger Bogenlichter Verwendung.

Ein bedeutender Fortschritt war zu verzeichnen, als Siemens im Jahre 1850 seinen »T«-Induktor erfand.[1]) Die Form des Eisens der Induktionsspule ist derart gewählt und so im magnetischen Felde, d. h. zwischen den induzierenden Magnetpolen angeordnet, daß eine weit kräftigere Wirkung damit erzielt wird als mit all den früheren Formen.

Die Induktionsspule — kurz der Induktor, Anker — wird hergestellt, indem man ein rund gedrehtes zylindrisches Eisenstück derart mit Längsnuten durch Einhobeln versieht, daß der in Fig. 21 abgebildete Querschnitt entsteht. In die entstehenden Längsnuten wird nun der aufzubringende Draht gewickelt, wie es die Fig. 22 andeutet. In Fig. 22 ist nur eine Windung gezeichnet. Die Enden der Wickelung werden mit Schleifringen verbunden, welche isoliert von dieser auf der Welle angebracht sind. Durch Federn, welche auf diesen Schleifringen schleifen, wird der entstehende Wechselstrom der äußeren Leitung zugeführt. Der Anker rotiert zwischen den zylindrisch ausgenommenen Magneten.

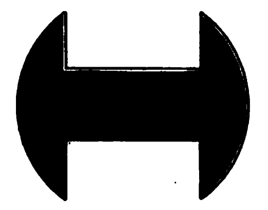


Fig. 21.

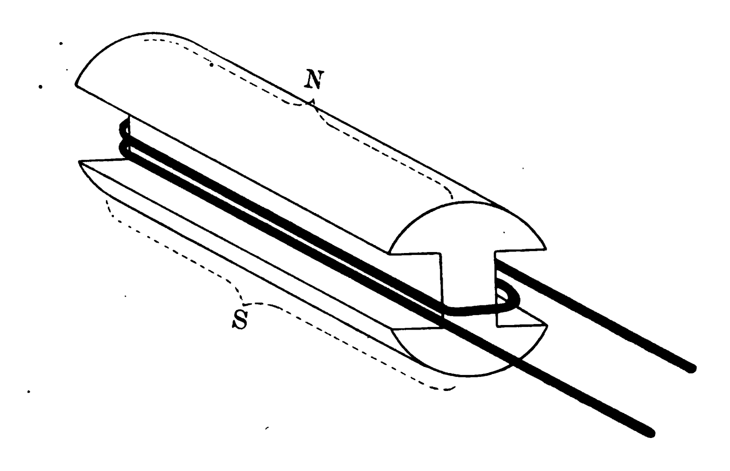


Fig. 22.

[1]) Wir können in diesem Buche, wie schon erwähnt, nicht auf eine geschichtliche Entwickelung der Maschinen eingehen, sondern müssen uns auf die Anführung der typischen Formen beschränken.

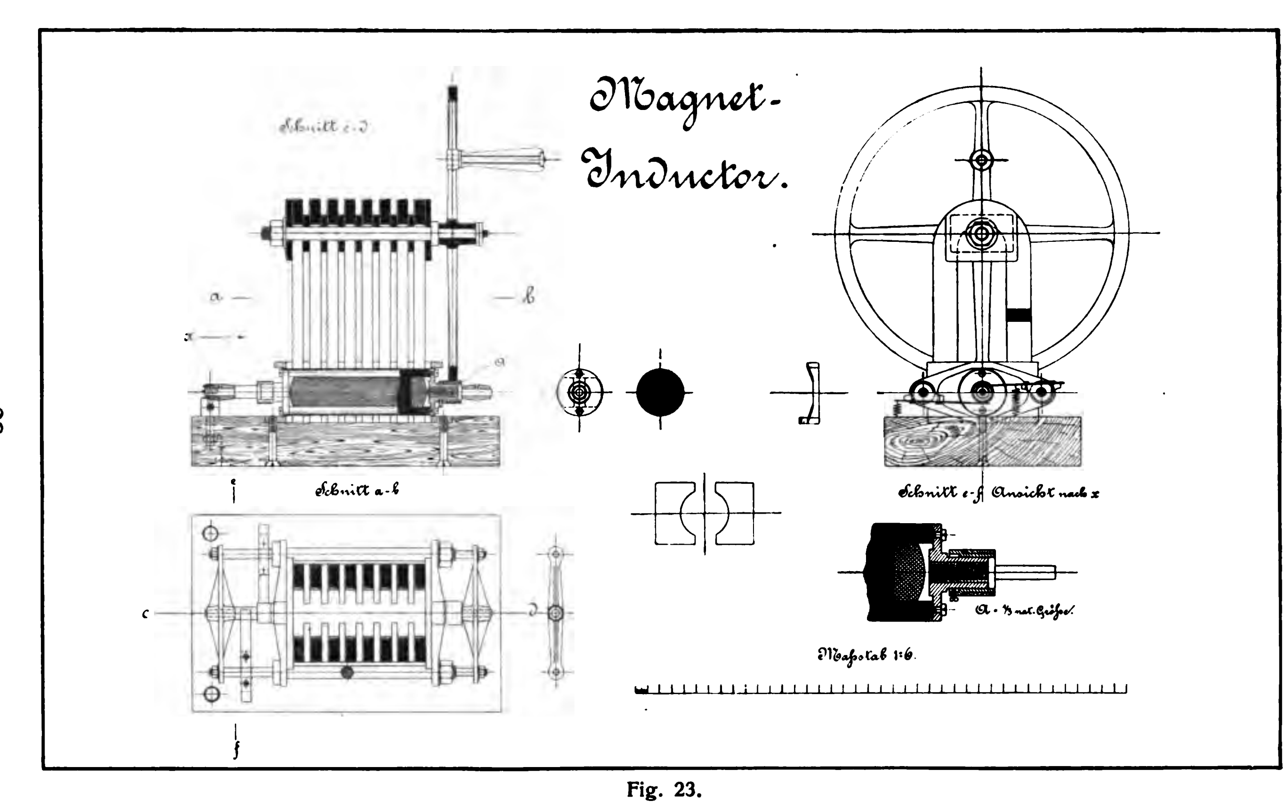

Magnet-
Inductor.
Schnitt c-d
Schnitt a-b
Schnitt e-f Ansicht nach x
A. ⅓ nat. Größe.
Maßstab 1:6.

Fig. 23.

In Fig. 23 haben wir eine vollständige Konstruktionszeichnung einer derartigen kleinen Maschine, eines sogenannten Magnet-Induktors gebracht, welche zur Erzeugung eines hochgespannten Stromes zur Entzündung von Patronen bei Sprengungen mit Dynamit usw. dient. Es dürfte demjenigen, der hierfür ein besonderes Interesse hat, kaum schwer sein, nach dieser in $^1/_6$ der natürlichen Größe gebrachten Zeichnung sich eine derartige sehr brauchbare und hübsche Vorrichtung zur Erzeugung von Induktionsströmen herzustellen. Wir wollen im folgenden der Zeichnung einige Erläuterungen beifügen.

Die permanenten Magnete läßt man sich am besten aus Wolframstahl anfertigen und magnetisieren. Dieselben, acht an der Zahl, werden durch drei Bolzen und Schrauben zusammengehalten und durch passend geformte, gleich dicke Stücke aus weichem Eisen in entsprechende Entfernung voneinander gebracht. Der obere Bolzen trägt das große Handrad, welches an seinem Umfange randeriert ist und den Induktor (Anker) durch Friktion in Rotation versetzt; zu diesem Zwecke ist die Welle des Ankers an entsprechender Stelle, A in der Figur, mit einem Kautschukring versehen. Die Lager sind auf Brücken, welche an die beiden unteren Bolzen angeschraubt sind, angebracht. Die Wickelung des Ankers entspricht der Zeichnung in Fig. 22; der Anfang des Drahtes wird mit der Welle verlötet, das Ende mit einem von der Welle isolierten Schleifring verbunden, auf welchem, sowie auf der Welle selbst, Federn mit leichtem Drucke schleifen. Als Draht nehme man mit Seide isolierten Kupferdraht von 0,1 bis 0,15 *mm* Durchmesser.

Wenden wir uns nun zu der Frage, in welcher Weise Ströme beim T-Anker entstehen. Der Anker wird, falls er sich frei bewegen kann, sich stets so stellen, wie er in Fig. 24 gezeichnet. Denken wir uns aber, er befände sich in einer zu dieser um 90° verdrehten Stellung, und wir drehen denselben nun. Hierbei nähern sich die breiten Teile den Magnetpolen und werden hierdurch selbst magnetisch; dieser erregte Magnetismus wird sein Maximum erreicht haben, wenn sich der Anker in der in Fig. 24 skizzierten Stellung befindet. Es erscheint uns auch hier der Anker als nichts anderes als ein Magnet, dessen magnetische Achse sehr kurz, dessen Pole aber sehr breit und verstärkt sind. (Siehe Fig. 22, in welcher die entstehenden Pole punktiert angedeutet sind.)

Indem sich nun der Anker und mit ihm die Spule gegen die Pole bewegt und hierbei gleichzeitig Magnetismus im Kerne hervor-

gerufen wird, entstehen, wie wir aus vorausgegangenem wissen, Induktionsströme in den Drahtwindungen. Diese Ströme werden so lange dauern und an Kraft zunehmen, als die Drehung dauert bis zur Erreichung der Stellung in Fig. 24. In diesem Augenblicke entfernt sich die Spule von den betreffenden Polen, um sich entgegengesetzten zu nähern; der Magnetismus wird schwächer, in der Mittelstellung — nach 90° Drehung — gleich 0, entsteht in entgegengesetzter Art bei weiterer Drehung und erreicht sein Maximum, wenn er 2×90° Drehung vollendet, also eine halbe Umdrehung gemacht hat. Diesen Einflüssen auf die Drahtwindungen entspricht also das Entstehen eines Induktionsstromes entgegengesetzter Art als im ersten Teile der Drehung.

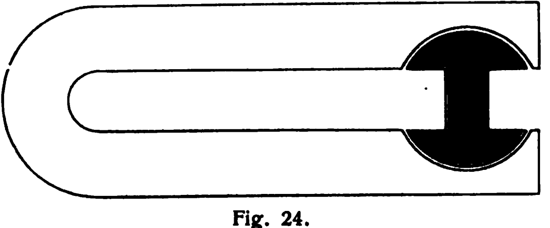


Fig. 24.

Wir sehen also, daß bei jeder vollen Drehung zwei einander entgegengesetzt gerichtete Ströme induziert werden. Ein einfacher Kommutator (Fig. 25) macht es möglich, in den äußeren Stromkreis nur Ströme einer Richtung zu senden.

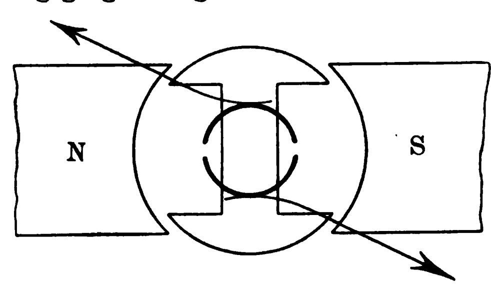


Fig. 25.

Diese Magnetinduktoren werden sehr viel gebaut. Man verwendet dieselben außer als Minenzünder an Stelle von Elementen zur Signalgebung in der Telegraphie und Telephonie.

Wie wir gesehen haben, besteht eine stromgebende Maschine aus mehreren wichtigen oder wesentlichen Teilen, und zwar:

1. Die induzierenden Magnete.
2. Der Anker.
3. Der Stromsammler mit den den Strom abnehmenden und der Nutzleitung zuführenden Schleiffedern (Bürsten).

Die Wirkungsweise einer elektrischen Maschine besteht, wie wir gesehen, im folgenden: Durch Rotation des Ankers werden dessen

Drahtpartien an den Polen der Magnete vorbeigeführt, wobei dieselben eine induzierende Einwirkung erfahren; es entsteht in denselben ein Strom.

Dieser Strom wird durch den Stromsammler, dessen Einrichtung verschieden nach der Art und Bewickelung des Ankers ist, in die äußere Leitung geführt, in welcher derselbe irgend eine Arbeit verrichtet.

Denken wir uns eine solche stromgebende Maschine mit der äußeren Leitung, so wird es uns bald klar, daß wir einen einzigen Stromkreis haben, der jedoch in zwei wesentliche Teile zerfällt: in denjenigen im Anker (in den Figuren als starker Kreis dargestellt) und denjenigen der Verwendung (schwach gezeichnet). Die Fig. 26 stellt demnach das Schema einer elektrischen Maschine vor. Die Magnete, welche wir uns vorläufig noch als permanente denken wollen, liegen also ganz außerhalb. Stellen wir uns nun vor, die Magnete seien nur aus weichem Eisen hergestellt, das aber eine, wenn auch sehr geringe Menge von Magnetismus enthalte. Setzen wir den Anker, von dem wir voraussetzen wollen, daß er in Verbindung mit seinem Stromsammler einen stets in gleicher Richtung fließenden Strom erzeuge, nun in Rotation, so wird der durch den angenommenen geringen Magnetismus der Magnete erzeugte Strom äußerst gering sein.

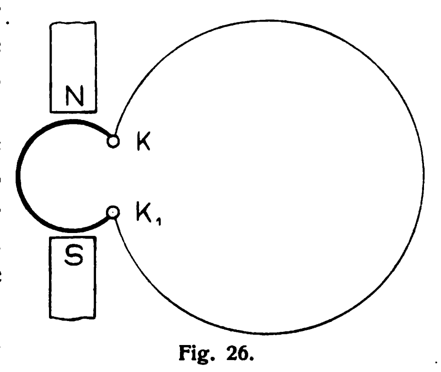


Fig. 26.

Wenn wir aber diesen Strom um die Eisenkerne in vielen Lagen führen, so wird dieser schwache Strom den Magnetismus verstärken; dieser verstärkte Magnetismus aber wird auch einen etwas stärkeren Strom hervorrufen, der abermals den Magnetismus erhöht. Auf diese Weise werden die Magnete eine bedeutende Kraft erlangen, die sich uns durch das Entstehen eines kräftigen Stromes kenntlich macht.

In der Fig. 27 sehen wir den Strom, der von den Klemmen K und K_1 abgenommen wird, erst durch die Spulen der Eisenkerne gehen, um dann in der äußeren Leitung Arbeit zu leisten. In diesem Falle zerfällt der Stromweg in drei wesentliche Teile: Anker, Magnete, beziehungsweise Elektromagnete und Nutzleitung.

In diesen wenigen Worten haben wir das von unserem genialen Siemens im Jahre 1867 aufgestellte und zuerst angewandte Dynamoprinzip charakterisiert.

Eine Frage aber drängt sich uns sofort auf. Wir haben eben gehört, daß der Strom immer größer wird durch das Zunehmen des Magnetismus in den Eisenkernen; wie weit geht dies nun? Der entstehende Strom müßte ja ins Unendliche wachsen; wo ist da die Grenze?

Eine Grenze ist gegeben und zwar durch folgendes: 1. vor allem durch die aufgewendete Arbeit, welcher der entstehende Strom

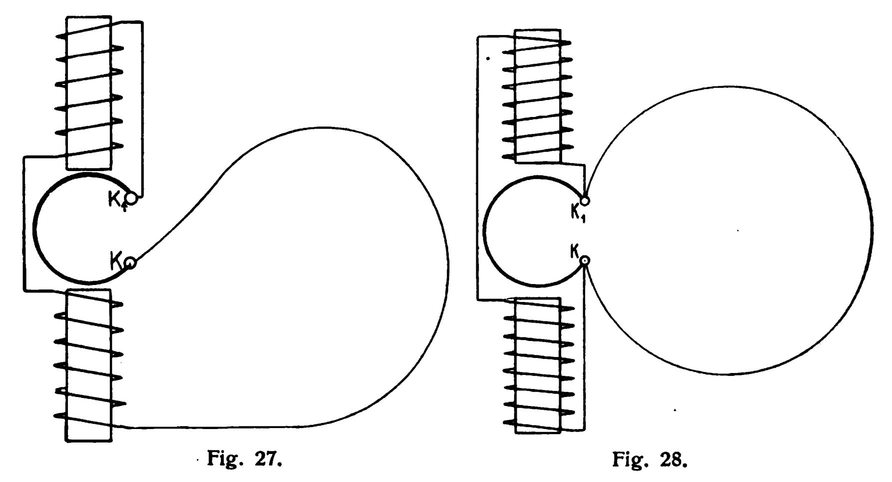


Fig. 27.　　Fig. 28.

proportional sein wird; 2. durch die Größe resp. Konstruktion der Maschine; 3. durch die Drahtstärke, wie wir dies auch später genauer sehen werden; 4. durch die magn. Sättigung der Magnetkerne.

Eine Maschine der Art, wie oben beschrieben und in Fig. 27 schematisch dargestellt, bezeichnet man als eine reine Dynamo-, Hauptschluß- oder auch Serienmaschine.

Wie wir im dritten Kapitel sahen, kann man einen Strom verzweigen und zwar auch so, daß in einem Teile nur ein bestimmter kleinerer Teil des gesamten Stromes fließt. Dies findet bei der Dynamomaschine selbst auch Anwendung, indem man, statt den genannten Strom zur Gänze durch die Spulen der Elektromagnete zu führen, nur einen Teil desselben zur Erregung des Magnetismus verwendet. Dies stellt die Fig. 28 schematisch dar.

Es liegen hier die Magnete im Nebenschlusse — in einer Ver-

zweigung des Stromes. Man bezeichnet daher eine solche Maschine als Nebenschlußmaschine.

Ein dritter Fall ist der, wo man beide besprochenen Fälle kombiniert; man zweigt von den Klemmen einen Teil des Stromes zur Erregung des Magnetismus ab und sendet gleichzeitig den Hauptstrom in einigen wenigen Windungen um die Magnete. Eine so angeordnete Maschine wird als Compound- oder auch Gleichspannmaschine bezeichnet. (Siehe Fig. 29.)

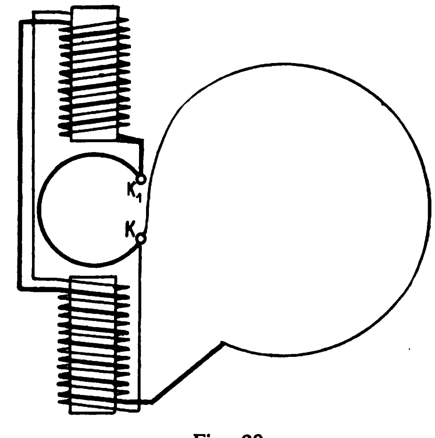


Fig. 29.

Im obigen haben wir das Wesen der Dynamomaschine besprochen, ohne uns um die Art des Ankers, um seine Konstruktion weiter zu bekümmern; dies wollen wir jetzt tun. In den folgenden Zeilen sollen die typischen Formen der heute gebräuchlichen Anker besprochen werden. (Wir haben hier nur Gleichstromdynamos im Auge.)

— Bevor wir zur Besprechung der einzelnen Teile der Dynamomaschine schreiten, haben wir uns in Kürze über die Entstehung der Ströme zu informieren.

Man nennt die Umgebung des wirksamen Raumes eines Magnetpoles das magnetische Feld. Zwischen zwei entgegengesetzten Polen wird daher stets ein Feld entstehen, welches von magnetischen Kräften gewissermaßen erfüllt ist; man spricht von einer Kraftströmung, die vom positiven (N) zum negativen (S) Pole verläuft. Es hat sich in der Elektrotechnik der Begriff der Kraftlinien für diese Strömung eingebürgert, sodaß man kurzweg sagt, der Raum zwischen den Polen ist von Kraftlinien erfüllt. Man ist in der Lage diese Kraftlinien dadurch nachzuweisen, daß man in den betreffenden Raum Eisenfeilspäne bringt, welche sich sofort in ganz bestimmten Linien anordnen und so den Verlauf der Kraftlinien sichtbar machen. Eisen ist ein vorzüglicher Leiter für die Kraftlinien und nehmen dieselben daher ihren Verlauf sofort durch das Eisen (Anker), sobald wir nämlich ein solches in das Feld bringen (siehe die zwei Figuren),

wovon die Fig. 30 den Verlauf in einem Ring- und die Fig. 31 in einem Trommelanker zeigt.

Bewegt sich nun ein Drahtleiter so durch das Feld, daß er bei seiner Bewegung die Kraftlinien schneidet u. zw. derart, daß sich die Zahl der geschnittenen Linien ändert, so entsteht eine elektromotorische Kraft in diesem Drahte, welche in ihrer Größe abhängig ist: 1. von der Zahl der geschnittenen Kraftlinien (Stärke des magnetischen Feldes), 2. von der Geschwindigkeit, mit welcher sich diese Drähte

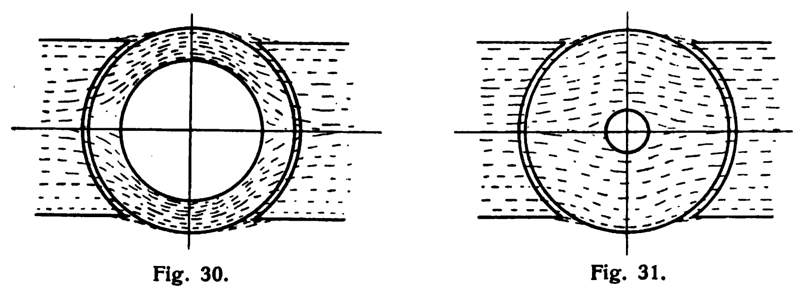


Fig. 30. Fig. 31.

bewegen, und 3. von der Zahl der Drahtwindungen (Länge des Drahtes).[1]) Wir wollen nun die Entstehung des Stromes in Dynamomaschinen für einen einfachen Fall besprechen und wählen hierzu den sog. Grammeschen Ring. Derselbe (Fig. 32) sei um O drehbar und bewege sich in der Pfeilrichtung. Aufgewickelt sei eine einzige Spule, die mit zwei halbzylinderförmigen Metallstücken, welche auf der Welle sitzen, verbunden ist. Auf diesen beiden Stücken gleiten Bürsten nach der in der Zeichnung angegebenen Anordnung.

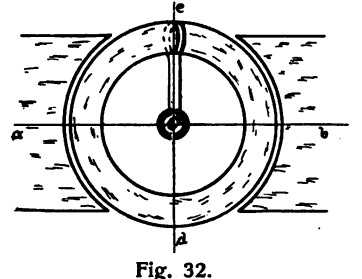


Fig. 32.

Wenn diese eine Spule sich nun in der Pfeilrichtung bewegt, so schneidet sie Kraftlinien in einer größeren Zahl bis zur Stellung b, um von dort weiter in immer geringerer Zahl die Kraftlinien zu schneiden, bis sie bei d angelangt ist. Hierbei entsteht eine elektromotorische Kraft, die von Null bis zu einem Maximalwerte ansteigt und wieder bis Null abnimmt. Bewegt sich jedoch die Spule von

[1]) Siehe auch des Verfassers: »Die Wechselstrommaschine.« Leipzig, Oskar Leiner.

d über a nach c, so findet genau dasselbe statt, jedoch hat der Strom die entgegengesetzte Richtung. Wenn sich der Leser daher die Bewegung der Spule und die gleichzeitige Bewegung der Schleifkontakte vergegenwärtigt und dabei nicht vergißt, daß die Bürsten ihren Ort nicht verändern, so wird er daraus entnehmen können, daß, trotzdem sich die Stromrichtung in der Spule geändert, der Strom durch die Bürsten in einer Richtung nach außen fließt. In Fig. 33 sehen wir zwei Spulen angebracht und erkennen sofort durch eine

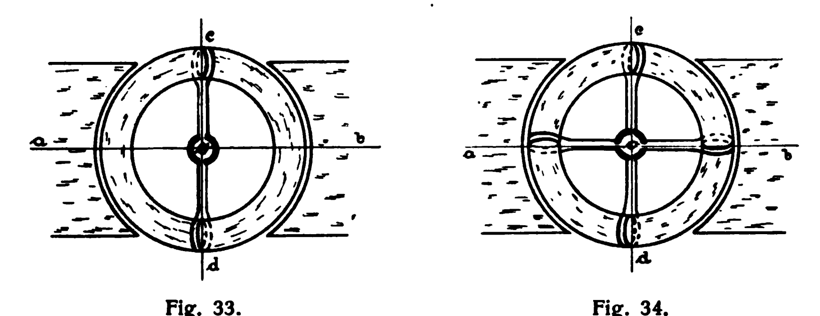


Fig. 33. Fig. 34.

leichte Überlegung, daß es möglich ist, aus beiden Spulen Ströme in einer Richtung zu erhalten; die beiden Spulen sind zueinander parallel geschaltet. Nun wollen wir, wie es die Fig. 34 zeigt, vier Spulen anordnen und dementsprechend auch vier Segmente, jedoch nur zwei Bürsten nehmen. Dann bemerken wir sofort, daß je zwei Spulen — wir haben dieselben in mittlerer Stellung gezeichnet — hintereinander geschaltet sind, während die beiden Paare auf jeder Ringhälfte durch die Bürsten wieder parallel geschaltet werden. Denken wir uns nun jede Ringhälfte mit z. B. je 10 Spulen versehen, so werden wir aus dem Vorhergehenden zu dem Schlusse gelangen, daß die Ringhälften durch die Bürsten parallel geschaltet werden, die einzelnen Spulen jeder Hälfte jedoch hintereinander geschaltet sind. Wir wissen aber, daß sich Spannungen bei Hintereinanderschaltung addieren; die einzelnen Spulen geben nun je nach ihrer Lage verschieden große Spannung, doch wird aber aus all diesen eine konstante Spannung als Summe resultieren, während die Stromstärke jeder Hälfte sich wiederum addiert. Nachdem wir den Vorgang der Strombildung in einem Anker besprochen, wenden wir uns nunmehr der Beschreibung verschiedener Ankertypen und deren Aufbau zu.

Die Anker der Dynamomaschinen. Von diesen wollen wir die folgenden einer näheren Besprechung unterziehen: den Trommelring Grammes, den Flachring Schuckerts, die Bürginsche Armatur, die Trommel Hefner-Altenecks, die Trommel Edisons, die Kugelarmatur der Thomson-Houston-Company.

Der Grammesche Ring. Es sei hier vorausgeschickt, daß diese Art von Anker oder Armatur zuerst von Pacinotti als dessen eigene Erfindung in einem Motor Anwendung fand, aber erst durch

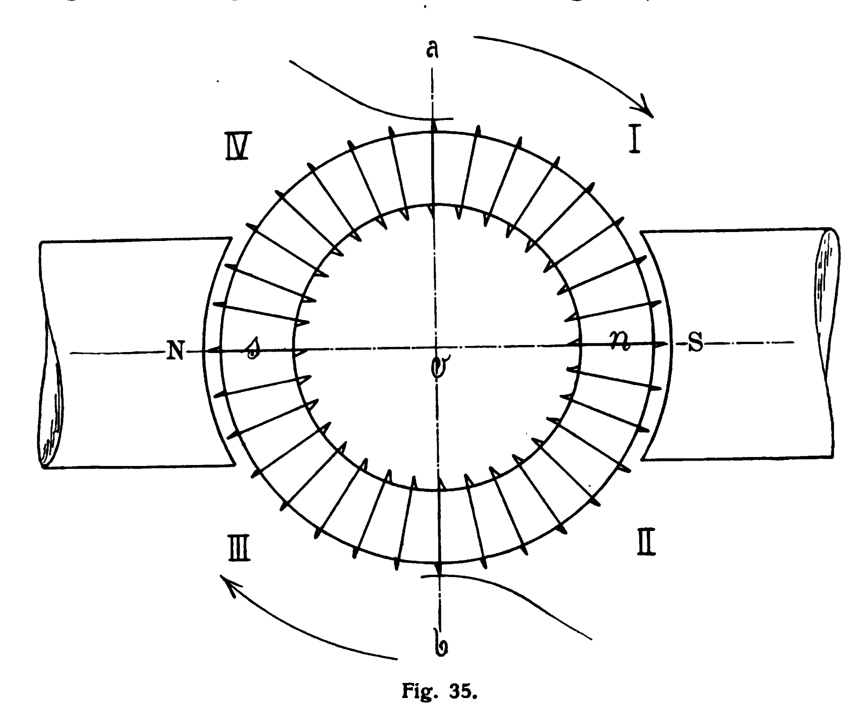


Fig. 35.

Gramme, der denselben selbständig erfand, zur Bedeutung gelangte. Um den Grammeschen Ring zu verstehen, wollen wir uns der Fig. 35 bedienen.

Denken wir uns einen Ring aus Schmiedeeisen mit einem blanken Kupferdraht spiralig umwickelt; das Ende verbinden wir mit dem Anfange, den Eisenring überwickeln wir mit Guttaperchapapier zur Isolierung des Drahtes von demselben.

Vor allem wird uns klar, daß der Eisenring in der gezeichneten Stellung durch Einwirkung der gegenüberstehenden Pole selbst zu

einem Magnete wird, der seine Pole in der gestrichelten Linie n s hat. Diese beiden Ringpole müssen wir als Doppelpole auffassen; wir können uns den Ring aus zwei Hufeisenmagneten bestehend denken, welche mit den gleichnamigen Polen in n und s zusammenstoßen. Drehen wir nun den Ring um eine zur Papierebene senkrechte, durch den Mittelpunkt O gehende Achse, so werden immer andere und andere Punkte des Ringes der Einwirkung der Pole unterliegen und selbst zu Polen werden. Es werden also die Ringpole im Ringe wandern, während sie geometrisch am Orte bleiben.

Der Ring rotiert nun nicht allein, es bewegt sich ja der umwickelte Draht mit ihm, da nun aber, wie wir oben gesehen, die Pole sich stets nur an derselben Stelle befinden, können wir der Auffassung Raum geben, daß der Ring, d. h. das Eisen, still stände, während die Spulen sich über denselben bewegend um die Achse O in der Pfeilrichtung rotieren.

Hierbei nähern sich die Drahtpartien des Quadranten I einem, sagen wir dem Südpole, die des Quadranten III dem Nordpole, während sich diejenigen der Quadranten II und IV von diesen Polen entfernen, um sich den entgegengesetzten zu nähern.

Daß hierdurch Ströme entstehen, wissen wir nach dem auf S. 43 Gesagten.

Nehmen wir an, daß in den Spulen des Quadranten I Ströme entstehen, irgend einer angenommenen Richtung, so ist leicht einzusehen, daß der im Quadranten IV entstehende Strom die gleiche Richtung haben wird, da ja die Spulen von I sich einem — wie wir hier angenommen haben — Südpole nähern, die des Quadranten IV aber sich von dem entgegengesetzten Pole entfernen. Die in beiden Quadranten erzeugten Ströme fließen alle gegen a.

Gehen wir nun zu den Quadranten II und III über, so ist leicht einzusehen, daß dort in bezug aufeinander dasselbe gilt wie bei den Quadranten I und IV, nur daß der hier erzeugte Strom dem ersteren entgegengesetzt gerichtet ist, so zwar, daß durch die Feder a ein Strom austritt, welcher je zur Hälfte in den beiden Ringhälften entstanden ist. Es ist daher in den beiden Teilen des Ringes, welche durch die Linie a b getrennt sind, je ein entgegengesetzter Strom entstanden, sodaß durch a und b die Summe zweier Ströme fließt. Der Ring erscheint uns demnach als aus zwei parallel geschalteten, spiralig gewundenen Leitern zusammengesetzt.

Wir wollen nun einige wichtige Punkte über den Aufbau des Grammeschen Ringes besprechen und bemerken, daß die folgenden Regeln als allgemein gültige zu betrachten sind.

Der Aufbau des Kernes. Würde man den Kern aus einem massiven Stücke herstellen, so würde sich alsbald eine bedeutende Erhitzung des Eisens zeigen, welche den Drahtlagen gefährlich werden könnte und außerdem einen großen Kraftverlust bedeuten würde. Die Ursache dieser Erhitzung ist das Auftreten von Induktionsströmen im Eisenkerne. Diese unter dem Namen der Foucaultschen Ströme bekannten Ströme haben nun die Möglichkeit sich auszubreiten; sie finden wenig Widerstand und werden daher auch verhältnismäßig große Stromstärken erreichen. Diese Ströme verrichten keine andere Arbeit als die Bildung von Wärme. Um die Ausbreitung der Foucaultschen Ströme und damit die Wärmebildung zu verringern, hilft man sich mit einem einfachen Mittel: man bildet den Eisenkern aus einer großen Zahl von einzelnen, voneinander isolierten Teilen. Dies wird nun auf verschiedene Weise bewerkstelligt: a) indem man den Kern durch Aufwinden von verrostetem und gut lackiertem Eisendraht auf eine entsprechende Form bildet; b) durch Aufrollen von dünnem Bandeisen, welches man durch Stoff- oder Papierstreifen trennt; c) indem man einzelne Blechscheiben durch mit Schellack getränkte Papierblätter oder Preßspan getrennt in achsialer Richtung aneinander preßt. a) gibt eine Zerteilung nach beiden Richtungen achsial und radial, b) eine solche in radialer, c) eine solche in achsialer Richtung. (Siehe Fig. 36.) Die heute gar nicht mehr gebauten Flachringe hatten den Aufbau, wie es Fig. 36 a und b zeigen, während die modernen Ring- und Trommelanker ausschließlich nach Fig. 36c aufgebaut werden.

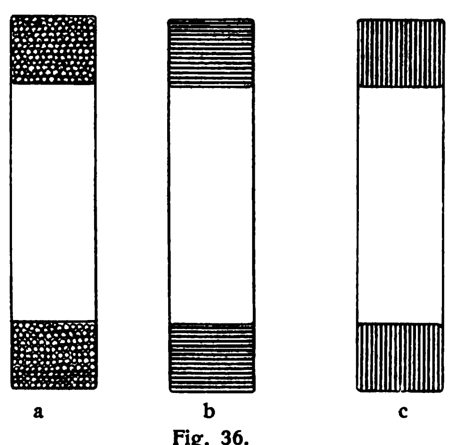


Fig. 36.

Die Bewickelung. Bevor mit der Wickelung der Drahtspulen begonnen wird, umwickelt man den Kern mit guter Leinwand derart, daß keine Drahtlage am blanken Eisen zu liegen kommt, man wird

auch diese Leinwand mit Schellack einlassen. Hauptsache ist es, einen gut isolierten Draht[1]) zu verwenden.

Die Wickelung erfolgt nun in dem Sinne, daß der Ring von einer Anzahl untereinander gleich großer, sämtlich in einer Richtung gewickelter Spulen eingeschlagen erscheint. Die Zahl der Spulen und der Windungen in diesen richtet sich nach Größe und Art der zu bauenden Maschine, nach der Drahtstärke und der verlangten Spannung. Wir kommen später noch darauf zurück. Um die Spulen bequem wickeln zu können, bedient man sich einfacher Holzkeile, welche die zu wickelnde Spule beiderseits begrenzen. Es ist sehr wichtig, darauf zu sehen, daß die einzelnen Lagen eng aneinander und — falls mehrere Lagen übereinander zu wickeln sind — diese genau übereinander gelegt werden. Wickelt man in dieser Weise, so ist es natürlich, daß die Spulen nur an der inneren Seite des Ringes aneinander stoßen werden, während auf der äußeren Seite des Ringes ein mehr oder minder großer Zwischenraum frei bleiben wird. Man kann aber auch so wickeln, daß die einzelnen Spulen auch an ihren oberen, d. h. an den äußeren Partien knapp aneinander schließen. Das ist so zu erreichen, daß die inneren Drahtlagen über, die oberen Drahtlagen nebeneinander zu liegen kommen. (Siehe Fig. 37.)



Fig. 37.

Alle Spulen werden in einem Sinne gewickelt; hat man eine Spule zu Ende gewickelt, so läßt man ein Stück, das bis zum Kollektor reicht, übrig, verbindet mit diesem Ende den Anfang des für die nächste Spule abgemessenen Drahtes und wickelt die nächste Spule. Bei schwachen Drähten werden die beiden zum Kollektor führenden Stücke miteinander verdreht.

---

[1]) Ein solcher Draht kommt unter der Bezeichnung »Dynamodraht« in den Handel. Bei Bestellung dieses Drahtes ist es gut, weichen Draht zu verlangen, da es häufig vorkommt, daß der von der Fabrik gelieferte Draht vom Ziehen her ziemlich hart ist; solcher Draht bricht gern und macht das Wickeln sehr schwierig.

Sehr wichtig ist es, für eine gute Isolation an jenen Stellen zu sorgen, in welchen die Spulen aneinander stoßen; das sind die mit A bezeichneten Stellen in Fig. 38. Am besten ist es, zwischen je zwei Spulen ein Stückchen mit Schellack getränktes Kartonpapier oder sog. Mikanitpapier einzuschieben. Unterläßt man dies, so kann sehr leicht ein Durchschlagen der Drahtisolation die Bildung eines Kurzschlusses und damit ein Versagen der Maschine zur Folge haben.

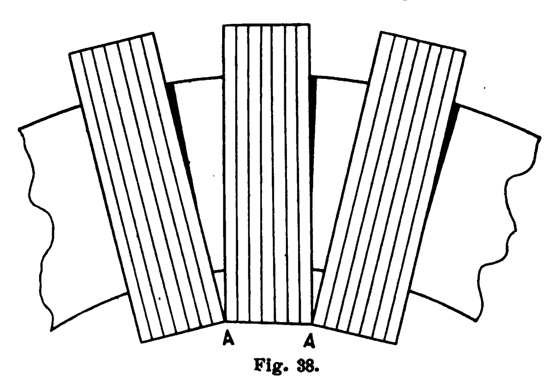
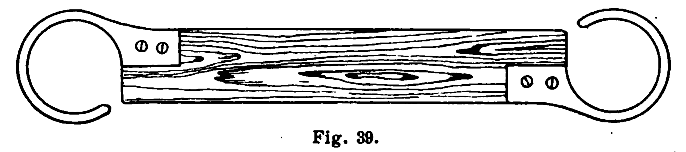


Fig. 38.

Hat man Spulen zu wickeln, auf welche eine ziemliche Menge Drahtes aufgeht, so ist es am besten, wenn man sich so viele Stücke Draht abmißt und vom Bunde abzwickt, als Spulen zu wickeln sind, und dann zu jeder Spule den notwendigen Draht auf eine Art Weberschiffchen (Fig. 39) aufwickelt, um auf diese Weise leichter hantieren zu können. Daß auf genaue und fleißige Arbeit beim Wickeln gesehen werden muß, sei besonders als beachtenswert hervorgehoben.


Fig. 39.

Um die einzelnen Drähte in ihrer Lage festhalten zu können, verwendet man dicken Schellack, welchen man durch Auflösen von braunen Schellack in wasserfreiem Spiritus erhält.

Ist der Ring fertig bewickelt, so werden die von den Spulen kommenden Drähte gleich lang gemacht, an ihren Enden blank geschabt, und nun ist der Ring fertig, um auf die Welle montiert zu werden.

Die Befestigung des Ringes auf die Welle geschieht in verschiedener Weise durch entsprechend ausgedrehte Scheiben, durch Keile u. dergl. Sehr häufig bildet man den Ring so, daß derselbe wie eine Riemenscheibe durch Speichen mit einer Nabe in fester

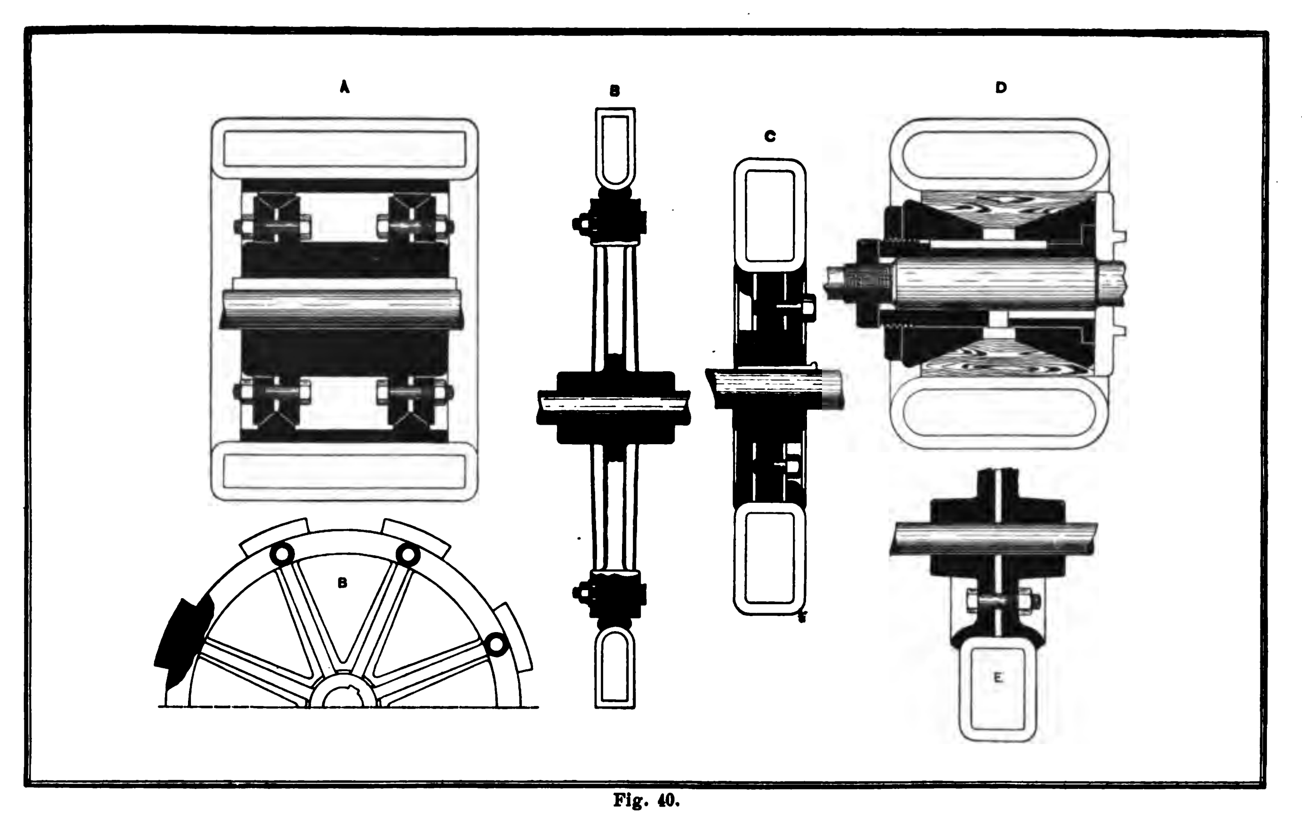


Fig. 40.

Verbindung steht, welch letztere auf die Welle geschoben wird. In Fig. 40 sind einige Befestigungsarten dargestellt.

Der Ring der Innenpol-Maschinen gehört hierher. Um langsamer laufende Maschinen zu erreichen, läßt man statt zweier Pole, wie wir in unserer obigen Betrachtung angenommen, deren vier oder mehr — aber stets ein Vielfaches von zwei — auf die Armatur wirken. Eine sehr beliebte Form solcher Maschinen ist die der Innenpol-Maschinen. Während nämlich sonst die Magnete derart angeordnet werden, daß die Pole auf der Außenseite des Ringes auf diesen wirken, haben die Innenpol-Maschinen die wirksamen Pole auf der Innenseite des Ringes. Die Magnete stehen sodann in radialer Richtung und gehen gegen den inneren Umfang des Ringes. Letzterer,



Fig. 41.

ein Trommelring, wird in diesem Falle selbstredend einen entsprechend großen Durchmesser und verhältnismäßig geringere Breite haben müssen.

Die auf den Seiten 69 und 70 dargestellte Handdynamo ist eine Innenpol-Maschine.

Eine Abart des Grammeschen Ringes ist die Bürginsche Armatur.

Denken wir uns einen Grammering mit 24 Spulen bewickelt, so liegen die Spulen 1, 2, 3 usw. bis 24 hintereinander. Stellen wir uns aber nun an Stelle des einen Eisenringes deren vier auf eine Welle geschoben vor und wickeln nun die Spulen wie folgt auf: Auf den Ring I die Spule 1; die Spule 2 nun nicht neben diese auf den Ring I, sondern auf Ring II; die Spule 3 auf Ring III; 4 auf IV; 5 auf I; 6 auf II; 7 auf III; 8 auf IV; 9 auf I usw. So hat jeder Ring nur sechs Spulen. Dreht man die Armatur und denkt sich eine fixe, zur Achse parallele Gerade gezogen, so werden an dieser der Reihe nach die Spulen 1, 2, 3, 4, 5 usw. sich vorbeibewegen. (Fig. 41.)

Durch diese Anordnung wird bezweckt, der Armatur größere Eisenmassen zu geben als es sonst bei gleicher Länge des aufgewendeten Drahtes möglich. Auch wird das magnetische Feld ein entsprechend größeres werden. Dieser Anker wird heute gar nicht mehr ausgeführt.

Außer den hier besprochenen Ringformen gibt es noch eine ganze Anzahl verschiedener Formen, welche meist eine rationellere Ausnutzung der Magnetfelder bezwecken, jedoch mehr untergeordneter Bedeutung oder aus anderen Gründen für uns hier zur Besprechung nicht geeignet sind.

Wir gehen daher zu einer anderen Form von Armatur über, und zwar zur Trommel-Armatur v. Hefner-Alteneck.

Wir haben beim Grammering gesehen, daß ein Teil der Drähte der Spulen auf die innere Seite zu liegen kommen und so der Einwirkung der Magnetpole fern liegen; es bilden dadurch die inneren Lagen einen unnützen Widerstand und verringern so die Leistungsfähigkeit der Maschine in bezug auf das aufgewendete Kupfergewicht.

Um dies zu vermeiden, konstruierte v. Hefner-Alteneck seine Trommel-Armatur.

Wie schon der Name sagt, haben wir hier als Gerüst für die Wickelung keinen Ring, sondern eine Zylinder-Trommel. Der Kern der v. Hefner-Alteneckschen Armatur wird in der Weise hergestellt, daß man Blechscheiben vom Durchmesser des zu bildendes Kernes, durch Papierscheiben voneinander getrennt, auf die Welle schiebt und dadurch zusammenhält, daß man dieselben durch starken Druck zusammenpreßt und durch auf die Welle geschobene und fest gekeilte Gußstücke fixiert. In den Fig. 42 und 43 sind zwei bewickelte Trommeln mit Kollektor dargestellt. Der Kern der Armatur besteht aus stärkeren Blechscheiben, welche mit Einkerbungen zur Aufnahme der Spulen versehen sind. Die tieferen Einschnitte haben den Zweck, eine genügende Ventilation zur Abkühlung des Ankers hervorzurufen.

Der so gebildete massive Zylinder wird nun abgedreht, mit isolierendem Stoffe eingehüllt und ist nun zum Wickeln bereit.

Die Wickelung ist nun eine wesentlich andere.

Die einzelnen Spulen bilden hier gewissermaßen Rechtecke, indem die wirksamen Drähte parallel zur Achse gehend an der Stirnseite rechtwinkelig abbiegen und auf der diametral entgegengesetzten Seite des Zylinders wieder mit der Achse parallel gehen. Wird auf diese

Weise öfter verfahren, so ist eine Spule gewickelt. Der Enddraht wird mit dem Anfange einer nächsten Spule verbunden und diese in gleicher Weise gewickelt. Die verbundenen End- bezw. Anfangsdrähte werden mit der entsprechenden Kollektorlamelle verschraubt. Die Fig. 44 zeigt ein Schema der Wickelung, aus welchem der Gang derselben leicht zu ersehen ist; selbstredend hat man statt des einen hier gezeichneten Drahtes eine Anzahl solcher, welche dann eine Spule bilden, zu wickeln.

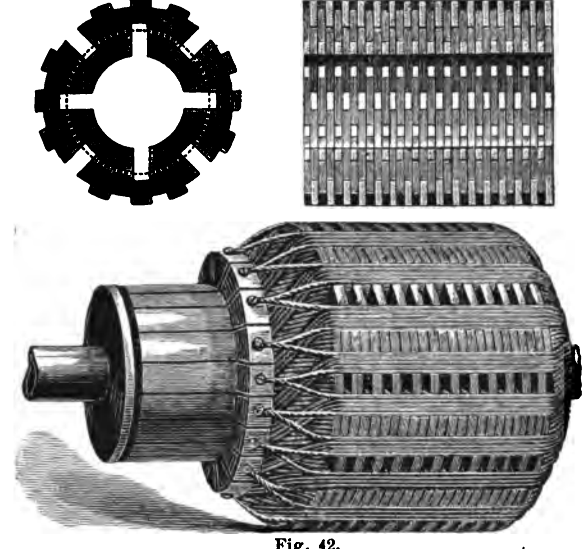


Fig. 42.

Man hat Sorge zu tragen, daß die sich kreuzenden Drahtpartien symmetrisch um die Achse geordnet werden. Diese Stellen, welche den Eindruck eines gewickelten Knäuels machen, werden mit Leder-



Fig. 43.

tuch oder ähnlichem bedeckt, um das Eindringen des Kupferstaubes, der sich am Kollektor stets bildet, zu verhindern.

Um das Abschleudern der Drähte von der Trommel während des Laufes der Maschine zu verhindern, werden dieselben durch zwei oder mehr Bunde aus dünnem Bindfaden in ihrer Lage festgehalten, wie auch in Fig. 43 ersichtlich.

Bei ganz großen Trommel-Armaturen werden auch häufig Längsnuten im Kerne angebracht, in welche sich die Drahtwindungen legen.

Bei diesen Trommeln verwendet man auch häufig Stäbe von quadratischem oder rechteckigem Querschnitt.

Ein Übelstand tritt bei allfälligen Reparaturen — wenn es notwendig wird, eine Spule neu zu wickeln — auf, das ist nämlich, daß man die Trommel meist ganz abwickeln muß, um zu einer schadhaften Spule zu gelangen, da, wie wir gesehen haben, die Drähte sich an den Stirnseiten kreuzen. Dieser Übelstand ist bei Ringen nicht vorhanden, da bei diesen jede einzelne Spule abgewickelt und durch eine neue ersetzt werden kann, ohne die benachbarten zu irritieren.

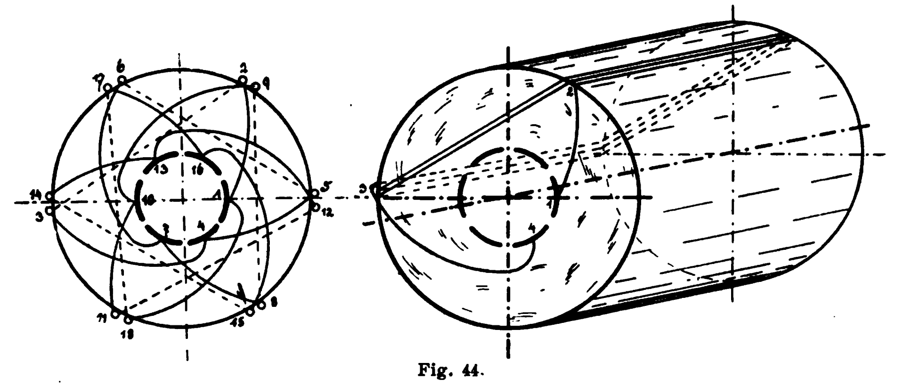


Fig. 44.

Die Edisonsche Armatur hat genau dieselbe Wickelung wie diejenige von v. Hefner-Alteneck. Es hat sich aber irrigerweise die Meinung gebildet, als habe Edison eine eigene, von der besprochenen abweichende Wickelung. Dies ist nun nicht der Fall. Die v. Hefner-Alteneckšche Trommel erlaubt nämlich auch eine Wickelung, bei welcher die Zahl der Spulen eine ungerade ist, sodaß also auch der Kollektor eine ungerade Zahl von Lamellen haben muß. Hierbei ist es natürlich, daß die diametral liegenden Bürsten nicht auf je einer Lamelle schleifen, sondern die eine auf einer Lamelle, die andere auf zwei Lamellen zugleich. Diese Wickelung nun hat Edison bei seinen ersten Maschinen angewendet.

Die Armatur von Thomson-Houston kann als eine Abart der v. Hefnerschen Trommel-Armatur angesehen werden. Die Armatur besteht aus einem aus Eisendraht gebildeten Rotationsellipsoide, auf welchem nur drei Spulen knäuelförmig gewickelt sind, derart, daß

die Armatur eine kugelförmige Gestalt annimmt. Der Kollektor besteht entsprechend aus nur drei Segmenten, auf welchen zwei diametral angebrachte Bürsten schleifen. Die Maschine zeigt auch in ihrem ganzen Aufbaue wesentlich andere Verhältnisse als sonst üblich. Wir werden an der Hand einer Abbildung noch auf diese Maschine zurückkommen.

Nachdem wir nun im vorhergegangenen die Konstruktion und den Aufbau der wichtigsten Armaturtypen kennen gelernt, wollen wir uns zur Besprechung der übrigen Teile der Maschine wenden, um hiernach auf die Konstruktionsbedingungen eingehen zu können. Als Teile einer Dynamomaschine wollen wir unterscheiden: 1. die Magnete, 2. den Kollektor mit den Bürsten, 3. das Gestell oder Gerüst der Maschine, 4. die Welle, 5. die Lager, 6. als Nebenteil den Spannschlitten.

1. Die Magnete sind bei Dynamomaschinen, wie wir schon früher gehört, stets Elektromagnete, welche den Strom zu ihrer Erregung von der Maschine selbst erhalten. Es besteht sonach jeder Magnet aus einem Kerne aus Eisen und der Bewickelung. Der Kern wurde früher aus bestem Schmiedeeisen hergestellt; später wurde vielfach auch Gußeisen angewendet; letzteres wurde jedoch auch verlassen, da man bei diesem die Kernquerschnitte sehr groß nehmen muß. Heute wird allgemein Stahlguß angewendet, welchem Umstande die gedrungene Form der modernen Maschinen zu danken ist.

Was die Form des Kernes anbelangt, so sei hier bemerkt, daß dieselbe möglichst die zylindrische sein soll; jeder andere Querschnitt hat bei gleicher Flächengröße einen größeren Umfang als die Kreisfläche, was einem Mehraufwand von Draht entspricht; dessenungeachtet erheischt häufig die sonst günstigere Anordnung rechteckige oder ovale Querschnitte der Magnete. Abgesehen von diesem Umstand, spricht aber auch die leichtere Herstellung — lediglich auf der Drehbank — für die zylindrische Form. Dieser Kern wird mit Draht bewickelt. Selten geschieht dies, indem man den Draht direkt auf den Kern wickelt, sondern meist so, daß eine Spule aus Preßspan, Fiber, Mikanit oder Ambroin von geeigneter Größe mit dem entsprechenden Draht bewickelt und diese Spule auf den Kern geschoben wird.

Bei Bewickelung ist streng darauf zu sehen, daß der an und für sich gut isolierte Draht, ohne allzu festen Zug auszuüben, in gut

anliegenden Lagen aufgewunden wird und keine Stelle des Drahtes direkt auf blankes Metall zu liegen kommt. Es ist daher anzuraten, bei metallischen Hülsen diese mit in Schellack getränktem Papier oder dünnem Stoffe auszukleiden. Auch ist es gut, Lage für Lage mit einer nicht zu starken Schellacklösung zu bestreichen.

Manchmal werden die Magnete mit Polschuhen versehen, das sind entsprechend geformte Stücke aus Gußeisen, welche mit dem Polende des Magnetes durch Verschraubung solid verbunden sind und die Armatur umschließen. Der Polschuh bildet so eine Vergrößerung des Magnetpoles oder hat nur den Zweck, dem Pole die für seine Einwirkung auf die Armatur günstigste Form und Flächengröße zu geben.

Hier sei bemerkt, daß man bei älteren Maschinen meist die Armatur weit umfassende Polschuhe anbrachte, während man heute mehr darauf sieht, daß dieselben kräftig, massig, aber nicht größer als notwendig sind; der Kreisbogen, mit welchem der Anker vom Polschuh umschlossen wird, soll zwischen 110 und 138° betragen.

Verschiedene Formen von Magneten und Polschuhen sind aus den am Schlusse gebrachten Abbildungen von Maschinen zu ersehen.

Die Verbindung der Magnete mit dem Gestelle geschieht, wenn nicht Gestell und Magnete aus einem Guß hergestellt sind, meist durch Verschraubung in der Weise, daß man starke Schraubenbolzen anwendet, für welche das Muttergewinde in den Magnet geschnitten wird. Bei älteren Maschinentypen wurden auch die Magnete in das Maschinengestell eingegossen.

2. Der Kollektor bildet einen überaus wichtigen Teil einer Dynamomaschine, weshalb bei Konstruktion und Ausführung desselben die größte Sorgfalt dringend zu empfehlen ist.

Der Kollektor der Gleichstromdynamos, nach den im vorhergegangenen besprochenen Armatursystemen, besteht aus ebenso vielen voneinander sorgfältig isolierten, der Achse parallel gestellten Lamellen als Spulen auf der Armatur sind, mit welchen dieselben durch Drähte verbunden werden.

Das Material, aus welchem die Lamellen hergestellt werden, kann Kupfer, Rotguß (Bronze) oder auch Gußeisen sein. Siemens & Halske verwendeten bei ihren Maschinen Kollektoren aus Gußeisen mit Luftisolation.

Die Isolierung der einzelnen Lamellen voneinander geschieht durch Vulkanfiber oder Glimmer.

Wir bringen in den Fig. 45 bis 48 verschiedene Konstruktionen von Kollektoren und glauben, daß aus der Zeichnung alles zu ersehen ist.

Die Verbindung der Spulendrähte mit den Lamellen geschieht meist durch Verschraubung, bei kleineren Maschinen durch eine

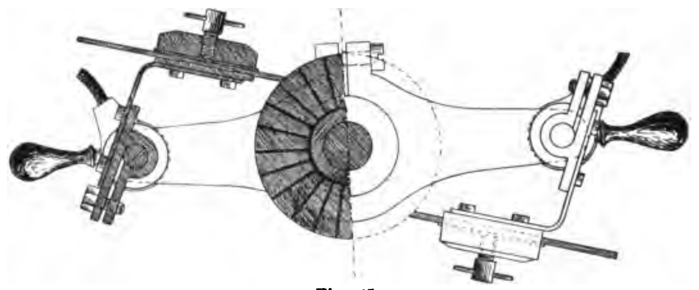


Fig. 45.

Schraube und Verlötung, bei größeren aber stets durch zwei und mehr Schrauben. Es empfiehlt sich, die beiden Schrauben durch einen durchgezogenen Draht gegen eine allfällige Lockerung zu sichern. Zu dem Zwecke werden die Köpfe der Schrauben durchbohrt, und durch beide wird ein s-förmig gebogener Draht gezogen. Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß es sehr wichtig ist, auf eine feste Verbindung von Draht und Lamelle zu sehen. Ist nämlich ein Spulendraht locker, so tritt Funkenbildung auf, oder es geht die Maschine gar nicht an, d. h. sie bleibt stromlos. Bevor ein Kollektor mit den Ankerdrähten verbunden wird, hat man denselben mit einem Galvanometer auf seine Isolierung zu prüfen.

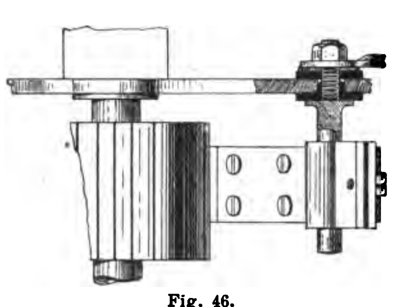
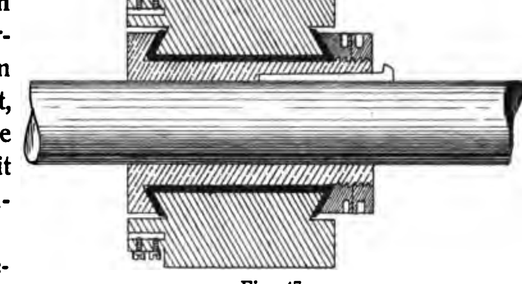


Fig. 46.

Am Kollektor schleifen die Bürsten, welche die Aufgabe haben, den Strom abzunehmen. Die Bürsten werden durch den Bürstenhalter oder die Bürstenbrücke in der ihnen zukommenden Stellung gehalten. Die Bürsten stellt man aus schwachem Bleche her, indem man eine Anzahl von Streifen, die bis zur halben Länge eingeschnitten sind, aufeinander legt und an dem einen Ende verlötet. Die Bleche

sollen nicht gerade hart sein, jedoch durch leichtes Walzen oder Hämmern eine gewisse Elastizität erhalten. Vorzügliche Bürsten in verschiedenen Breiten und Längen bringt man jetzt in den Handel, die aus Drahtnetz und geflochtenen Drähten hergestellt sind. Als Material für die Bürsten dient Messing und Kupfer; bemerkt sei nur, daß man niemals die Bürsten aus dem gleichen Material herstellen soll, aus welchem der Kollektor besteht, da in diesem Falle die Abnutzung eine weit größere ist als bei ungleichem Material.


Fig. 47.

In neuester Zeit bedient man sich auch der Kohle als Stromabnehmer. Diese Kohle wird in zylindrischen Stäben oder flachen Stücken angewendet und muß unter leichtem Drucke schleifen; sie soll glashart sein. Metallbürsten sollen tangential oder steif aufliegen, Kohle aber streng radial. Kohlenbürsten bewährten sich vorzüglich.

Um einen innigen Kontakt zwischen Stromabgeber (Kollektor) und Stromabnehmer (Bürsten) herzustellen, werden letztere durch regulierbare Federn. angedrückt.


Fig. 48.

Während man bei kleineren Maschinen nur je eine Bürste schleifen läßt, müssen bei größeren Maschinen deren zwei oder auch mehr nebeneinander angebracht werden. Man rechnet als Auflagefläche der Bürsten pro 1 Ampère 3 *qmm.* Neuerer Zeit wird vielfach eine sogenannte Kollektorschmiere in den Handel gebracht und empfohlen; mäßige Anwendung derselben, besonders bei Kohlenbürsten, ist vorteilhaft. Es genügt zu demselben Zwecke jedoch auch ein Stückchen reines Paraffin, das man während des Betriebes kurze Zeit an dem Kollektor schleifen läßt.

(Bei der auf S. 70 abgebildeten Handmaschine ist der Raumersparnis halber ein sog. Scheibenkollektor in Anwendung gebracht.

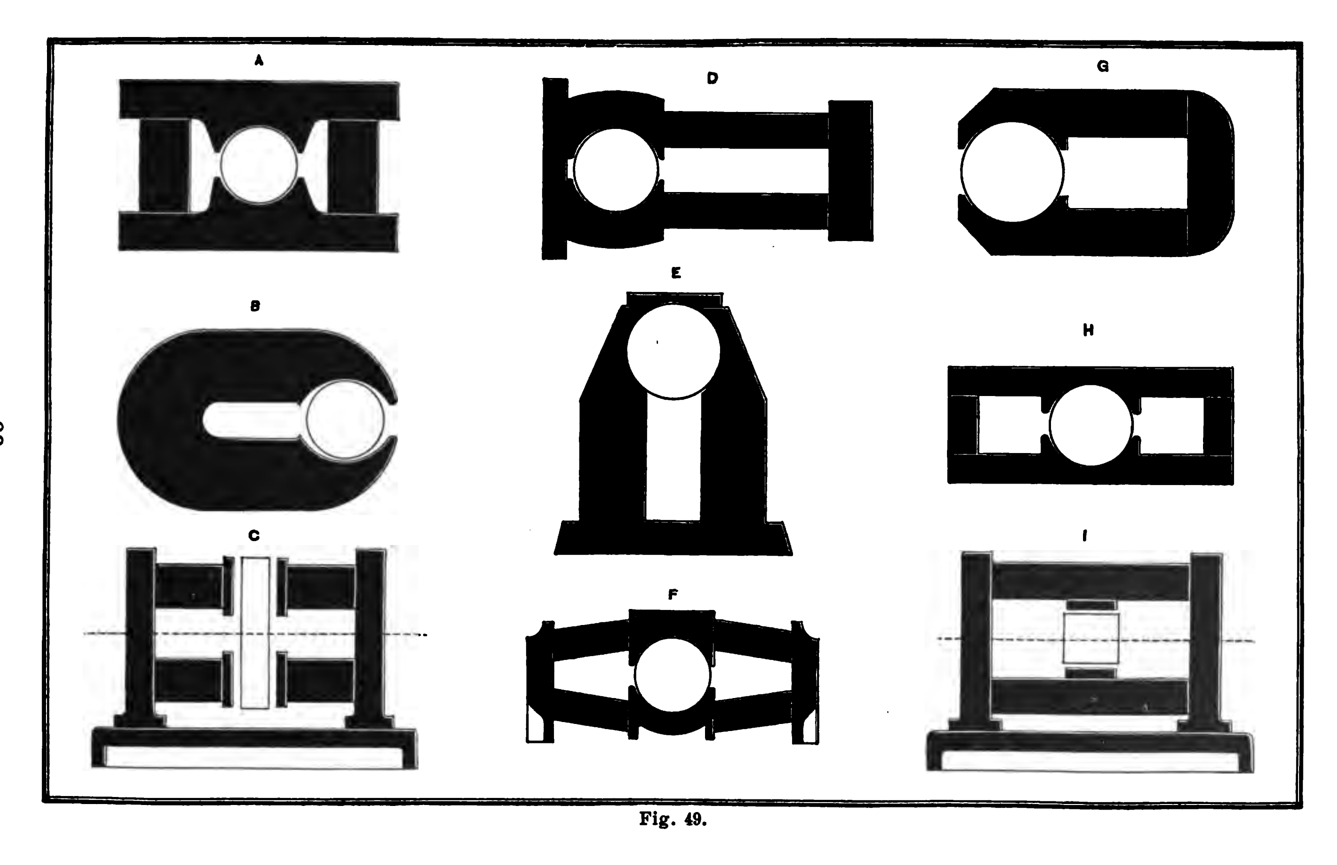


Fig. 49.

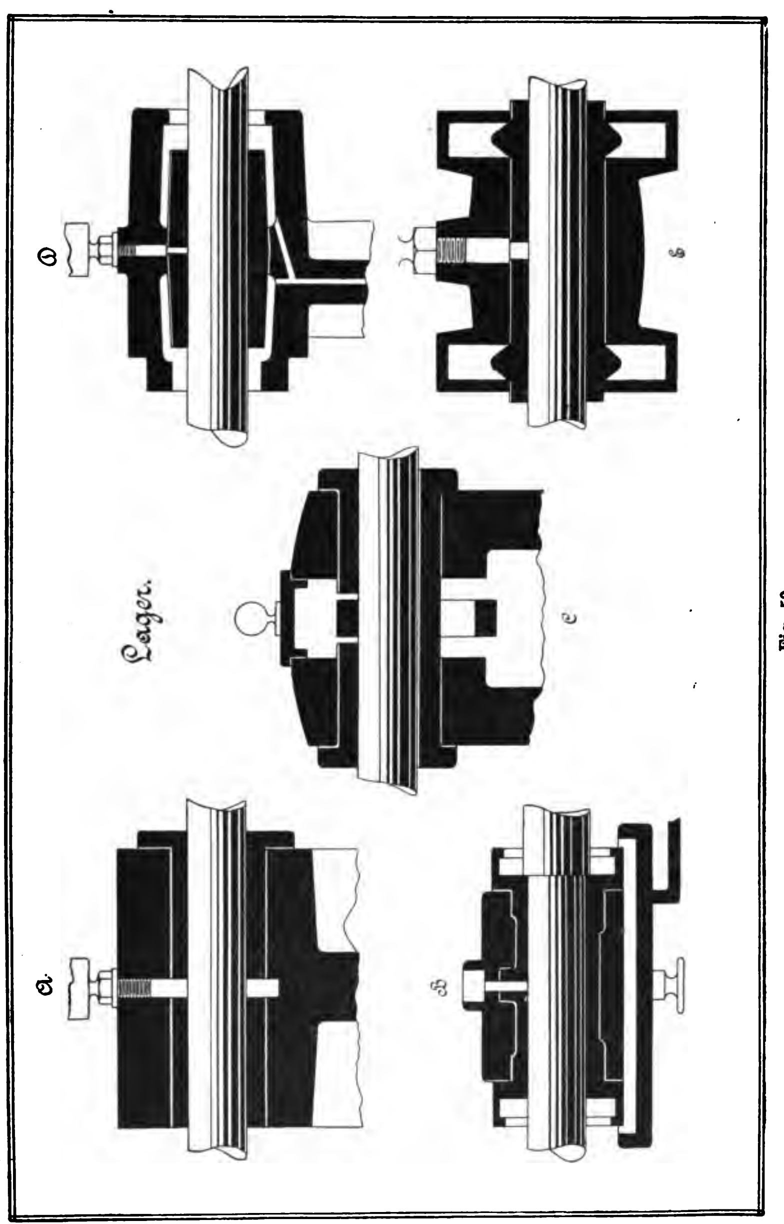


Fig. 50.

Derartige Kollektoren sind sehr einfach in ihrer Herstellung und insbesondere auch zu empfehlen als Versuchskollektoren bei Prüfung einer Maschine im halbfertigen Zustande.)

3. Das Maschinengestell. Über diesen wichtigen Teil einer Maschine lassen sich nur allgemeine Andeutungen geben, da derselbe wesentlich von der Anordnung und der Form der Hauptteile abhängt.

Während man anfänglich weniger auf große Massen im Gestelle Wert legte, ist dies in neuerer Zeit gerade umgekehrt; man trachtet, der Maschine durch kräftigen Bau — wenn auch bei möglichster Gedrungenheit der Maschine — eine größere Stabilität zu geben, und spart durchaus nicht gerade in diesem Teil an Material. Häufig kommt Hohlguß mit starken Wandungen bei Grundplatten und Lagerträgern in Anwendung. Als Material soll stets nur reines Roheisen (ohne Zusatz von altem Guß- oder Schmiedeeisen) bezw. Stahlguß in Verwendung kommen. Wir dürfen nicht vergessen, daß das Maschinengestell die Magnete trägt und somit einen Teil derselben bildet, also auch magnetisch wird, bezw. den magnetischen Kreislauf der Kraftlinien herstellt.

Was die Form des Gestelles anbelangt, so ist dieselbe naturgemäß von der Anordnung der wesentlichen Teile abhängig, wobei sich aber allgemein das Bestreben der Konstrukteure kundgibt, möglichst einfache und kräftige Formen dem Gestelle zu geben. Alle scharfen Kanten und Ecken sind tunlichst zu vermeiden; dieselben seien alle abgerundet. Das Gestell wird mit dunklen Farben gestrichen. Die Fig. 49 bringt eine Anzahl von schematischen Darstellungen der Anordnung diverser Maschinen. A: Manchester-Typus, Magnete mit rundem Querschnitt (Mather & Platt); B: Short, sehr massiv; C: Schuckert, Flachring; D: Edison; E: Siemens-Halske (Kapp-Form); F: Bürgin; G: Kapp; H: Crompton; I: Gramme.

4. Die Welle sei aus Stahl gedreht. Ihre Stärke richtet sich nach der Leistung der Maschine, resp. nach der Größe der auf die Maschine zu übertragenden Arbeit. Man wird die Welle lieber stärker als schwächer wählen, um den besonders bei größerer Tourenzahl auftretenden Schwingungen derselben möglichst vorzubeugen.

Damit ein seitliches Verschieben der Welle verhindert werde, muß diese in den Lagern abgesetzt sein, um an den inneren Stirn-

flächen derselben einen Anschlag zu haben; Stellringe sind zu vermeiden. Jede Welle soll an der der Riemenscheibe entgegengesetzten Seite eine kleine Bohrung (Körnerloch) haben, um einen Tourenzähler ansetzen zu können.

5. Die Lager werden in der im Maschinenbau allgemein üblichen Weise hergestellt und zwar mit Lagerschalen aus Bronze, Weiß- oder Lagermetall oder auch aus Gußeisen. Es ist am besten, sich bei Konstruktion derselben nach den in jedem Handbuche für Maschinenbauer befindlichen Tabellen zu halten.

Für ausreichende Ölung der Lager muß selbstredend Sorge getragen werden und ebenso dafür, daß das auslaufende Öl nicht umherspritzt. Insbesondere aber sei darauf gesehen, daß kein Öl auf den Kollektor gelange. Eine ganz vorzügliche Art, die Lager stets reichlich mit Öl zu versorgen, ist die der sog. Ringschmierung; diese ist in Fig. 50 (c) abgebildet, in welcher verschiedene Lagerungen dargestellt sind.

6. Die Spannvorrichtung oder der Spannschlitten ist eine Vorrichtung, mittels welcher die Maschine parallel zu sich selbst verschoben und so der Treibriemen mehr oder minder gespannt werden kann.

Der Schlitten besteht entweder aus einer Platte mit mehreren T-förmig ausgehobelten Nuten, in welchen die Schraubenköpfe bei Verschiebung der Maschine gleiten, oder nur aus zwei oder mehreren mit derartigen Nuten versehenen Schienen. Die Platte resp. die Schienen werden durch Fundamentschrauben festgehalten.

Jede Maschine soll ein Fundament bekommen, welches am besten aus Ziegelmauerwerk mit Zementbindung hergestellt wird, in welches die Fundamentschrauben eingelassen werden.

Fünftes Kapitel.

Konstruktionsbedingungen.

Die Armatur bewegt sich zwischen den Polen der auf die Windungen derselben wirkenden Magnete. Man sagt, die Armatur bewegt sich durch das magnetische Feld, d. i. die Wirkungssphäre der magnetischen Pole.

Die Wickelung der Armatur, sowie die Größe und Stärke der magnetischen Kraft bedingen im Vereine mit der aufgewendeten Arbeit die Leistung der Maschine.

Eine Maschine im voraus zu berechnen, ist eine schwierige und nur mit Hilfe von bestimmten Annahmen durchführbare Sache, wobei aber niemals mit Sicherheit auf eine Übereinstimmung von Rechnung und Erfolg gebaut werden darf, wenn nicht reiche Erfahrungen die Rechnung unterstützen.

Ganz anders freilich ist die Sache, sobald man seine Berechnungen auf Grund einer vorliegenden, in allen ihren Verhältnissen genau bekannten Dynamomaschine ausführen kann.

Wenn daher jemand, der noch gar nicht mit Dynamos gearbeitet, glaubt, er könne am Schreibtisch eine Maschine berechnen und konstruieren mit Hilfe von Formeln, so befindet sich derselbe in einem Irrtume befangen. Stets muß die Theorie mit dem praktischen Probieren Hand in Hand gehen.

Dem Charakter dieses Buches entsprechend, will ich daher meinem Leser raten, falls er keine Maschine als Ausgangsobjekt zur Verfügung hat, sich nach den weiter unten angegebenen Gesichtspunkten eine Maschine nach bester Überlegung zu bauen, an dieser Maschine aber seine Studien vorzunehmen. Es wird ihm dann nicht schwer fallen, eine beliebige Maschine konstruktiv richtig herzustellen. Selbstverständlich gehören hierzu einige verläßliche Meßinstrumente und das Verständnis des bisher Gesagten.

Die maximale, von einer Maschine zu liefernde Stromstärke hängt außer von der Stärke des magnetischen Feldes von dem Querschnitt



des Drahtes am Anker ab. Wir rechnen nämlich für Ankerdrähte, ohne eine wesentliche, dem Anker schädliche Erwärmung befürchten zu müssen, 2 bis 3 Ampère per Quadratmillimeter Querschnitt des Drahtes. Hierbei erinnern wir uns aber, daß der Ring (oder die Trommel) durch die Bürsten in zwei Teile, die zueinander parallel geschaltet sind, geteilt wird, daß also auf jede Hälfte der Armatur die halbe Stromstärke entfällt, also das Doppelte der oben genannten Belastung zu erreichen ist.

Nehmen wir an, ein Ring liefere eine Gesamtstromstärke von 50 Ampère, wobei die für die Magnete abgezweigte Stromstärke bei einer Nebenschlußmaschine mit eingerechnet ist, so entfallen auf jede Armaturhälfte 25 Ampère; es fließt also durch den Querschnitt des Drahtes ein Strom von 25 Ampère. Würden wir nun 3 Ampère auf den Quadratmillimeter gerechnet haben, so würde dies einem Drahtquerschnitt von 8 *qmm*, also einem Durchmesser von 3,2 *mm* oder rund 3 *mm* entsprechen. Die meisten Maschinen arbeiten mit weit mehr als 3 Ampère pro Quadratmillimeter. Bei guter Ventilation kann man immerhin bis auf 6 oder 8 Ampère gehen.

Bei einer vierpoligen Maschine wird der Ring in vier, bei einer sechspoligen in sechs, bei einer achtpoligen in acht Teile im obigen Sinne zu teilen sein, sodaß bei einer Gesamtstärke von 48 Ampère beispielsweise auf den Drahtquerschnitt in der vierpoligen Maschine 12, in der sechspoligen 8, in der achtpoligen Maschine 6 Ampère zu rechnen wären und darnach der Querschnitt, beziehungsweise Drahtdurchmesser zu wählen wäre.

Bei gleicher Leistung an Stromstärke wird daher der Draht um so schwächer zu wählen sein, je mehr Pole die Maschine hat, beziehungsweise bei gleichem Querschnitte der Drähte wird die Leistung bei der vierpoligen Maschine das zweifache, bei der sechspoligen das dreifache usw. sein.

Dies ist der erste Punkt, der ins Auge zu fassen ist, sobald wir an die Konstruktion einer Maschine gehen.

Die elektromotorische Kraft ist nun abhängig von der Windungszahl und der Geschwindigkeit, mit welcher eine Spule durch das magnetische Feld geht, sowie von der Stärke des letzteren. Die gewählte Windungszahl mit Rücksicht auf die erforderliche Drahtstärke wird die Größe des Armaturkernes ergeben. In bezug auf diesen sei aber bemerkt, daß es eine praktische Grenze für die Geschwindigkeit gibt, mit welcher der Anker rotiert, eine Grenze, welche mit

Rücksicht auf die Haltbarkeit desselben sich bestimmt. Als Grenze für die Geschwindigkeit nimmt man 20 *m* für den Umfang. Nehmen wir an, es sei der Durchmesser einer Armatur 30 *cm*, so wäre der Umfang rund 100 *cm* = 1 *m*. Nehmen wir nun eine Umfangsgeschwindigkeit von 20 *m*, so entspricht dies einer Tourenzahl von 20 per Sekunde oder 1200 per Minute eine noch ganz annehmbare Zahl für eine kleinere Maschine.

Die Armatur soll stets genügend Eisen enthalten; ein praktischer Versuch wird ergeben, daß bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen die elektromotorische Kraft mit der Vermehrung der Eisenmasse wächst. Was die Höhe der Bewickelung anbelangt, so ist es ratsam, nicht viel über $^1/_{10}$ des Kerndurchmessers zu gehen.

Die Anzahl der einzelnen Spulen auf der Armatur mache man so groß als tunlich, vergesse aber nicht, daß der Kollektor dieselbe Zahl von Lamellen haben muß und daß bei sehr großer Zahl der Bau des Kollektors große mechanische Schwierigkeiten hat.

Die Zahl der Spulen soll wenigstens so groß sein, daß die Spannungsdifferenz nicht mehr als 5 Volt zwischen zwei Spulen beträgt. Eine Dynamo, welche also 100 Volt Spannung gibt, sollte mindestens 40 Ankerabteilungen haben.[1]) Allerdings gibt es Maschinen, welche eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Spulen von 20 Volt aufweisen; in diesem Falle muß aber für eine ganz vorzügliche Isolation gesorgt sein, da sonst zu leicht ein Durchschlagen derselben und dadurch eine Beschädigung der Maschine stattfindet. In dieser Beziehung ist die Wickelung in Nuten (Nutenanker) sehr vorteilhaft; die Isolierung ist durch Mikanitpapier vorzüglich herzustellen, und die Drähte liegen fest und unverrückbar.

Die Magnete halte man kräftig; das Verhältnis des Durchmessers zur Länge sei beiläufig 1 : 3, kann aber auch bis zu 1 : 1 genommen werden. Was nun die Bewickelung anbelangt, so diene folgendes zur Richtschnur:

Die magnetische Kraft ist von der Zahl der Ampèrewindungen abhängig. Unter Ampèrewindungen versteht man das Produkt aus Zahl der Windungen mit Zahl der durch dieselben gehenden Ampère; so sind

---

[1]) Der Anker ist aus zwei parallel geschalteten Hälften zusammengesetzt zu denken — wobei jede Hälfte 100 Volt bei halber Gesamt-Ampèrezahl zu leisten hat.



100 Ampèrewindungen z. B. 10 Ampère × 10 Windungen
oder 1 » × 100 »
oder 2 » × 50 » usw.,

wobei wir uns merken wollen, daß die gleiche Zahl Ampèrewindungen auch dieselbe magnetische Wirkung hervorbringen wird.

Als Stromdichte (Zahl der durch den Querschnitt = 1 *qmm* fließenden Ampère) bei Magneten nimmt man 1,5 bis 2 Ampère. Darnach wird sich die Drahtstärke ergeben, wobei Rücksicht auf die Art der Maschine, ob es Hauptschluß- oder Nebenschluß-Maschine ist, genommen werden muß, da durch erstere der ganze Strom, durch die letztere aber nur ein Teil desselben fließen wird (ca. 3 bis 5% der Gesamtenergie).

Sehr wichtig ist nun die richtige Bürstenstellung. Bei einer zweipoligen Maschine müssen die Bürsten stets genau diametral aufliegen, sodaß also zwischen denselben nach jeder Seite gleich viele Lamellen bleiben. Die Stellung der Bürsten ist, wie auch aus Fig. 45, S. 58, zu sehen ist, die neutrale Zone, also zwischen den beiden Magneten. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß dies gewissermaßen die theoretische Stellung ist, während tatsächlich die Bürsten stets um einen gewissen Winkel in der Rotationsrichtung vorgeschoben werden müssen. Bei einer vierpoligen Maschine haben wir vier Bürsten, wovon je zwei, und zwar die gegenüberliegenden, miteinander leitend verbunden werden. Wendet man aber die Mordeysche Schaltungsweise an, so sind nur zwei unter einem rechten Winkel stehende Bürsten anzuwenden, bei einer sechspoligen zwei unter 60° zueinander stehende Bürsten usw. Die Mordeysche Schaltung besteht darin, daß man je zwei gegenüberliegende Spulen des Ankers (oder auch je zwei gegenüberliegende Lamellen des Kollektors) durch einen entsprechend starken Draht leitend verbindet. Bei einer sechspoligen Maschine werden je drei, die Ecken eines gleichseitigen Dreieckes bildende Spulen verbunden. Die Fig. 51 und 52 geben schematische Darstellungen der Mordeyschen Schaltung.

Am einfachsten findet sich die richtige Bürstenstellung, wenn man die Bürsten mit der Bürstenbrücke so lange vor oder zurück dreht, bis keine Funkenbildung wahrzunehmen ist.

Um nun demjenigen, der keine Maschine zur Verfügung hat, welche er als Ausgangspunkt seiner Konstruktion nehmen kann, die Möglichkeit zu bieten, eine brauchbare Maschine zu bauen, gebe ich

in folgendem alle Daten und entsprechende Konstruktionszeichnungen einiger Dynamomaschinen.

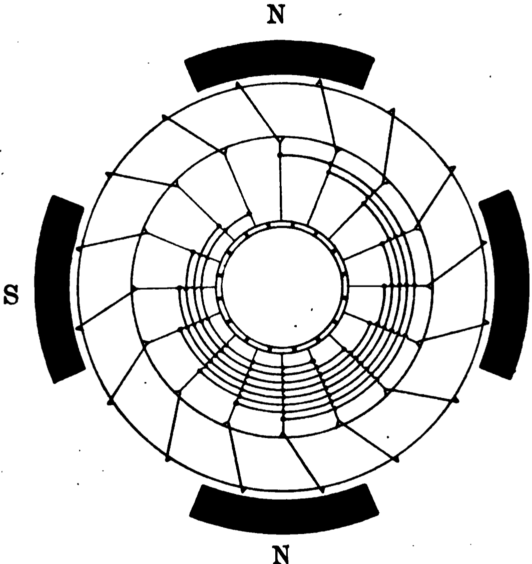


Fig. 51.

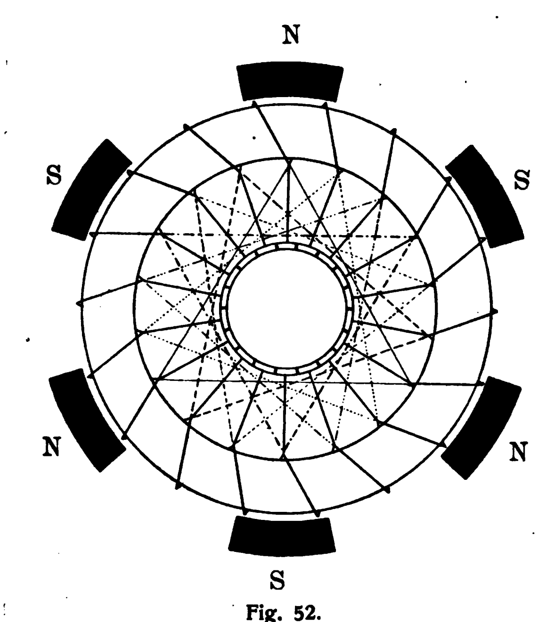


Fig. 52.

Auf den Seiten 69 und 70, Fig. 53 und 54, bringe ich die Konstruktionszeichnung einer kleiner Maschine und zwar einer Handdynamo, vierpolig, Innenpolmaschine. Es dürfte vielleicht für so manchen von Interesse sein, sich eine kleine Maschine zu bauen, mittels welcher er imstande ist, verschiedene Experimente und kleine Arbeiten zu verrichten. Um nun auch jenen meiner Leser, welche entweder nicht die Gelegenheit haben oder selbst nicht imstande sind, die Rohgußteile auszuarbeiten, die Möglichkeit zu verschaffen, sich die Maschine selbst fertig zu stellen, mache ich darauf aufmerk-

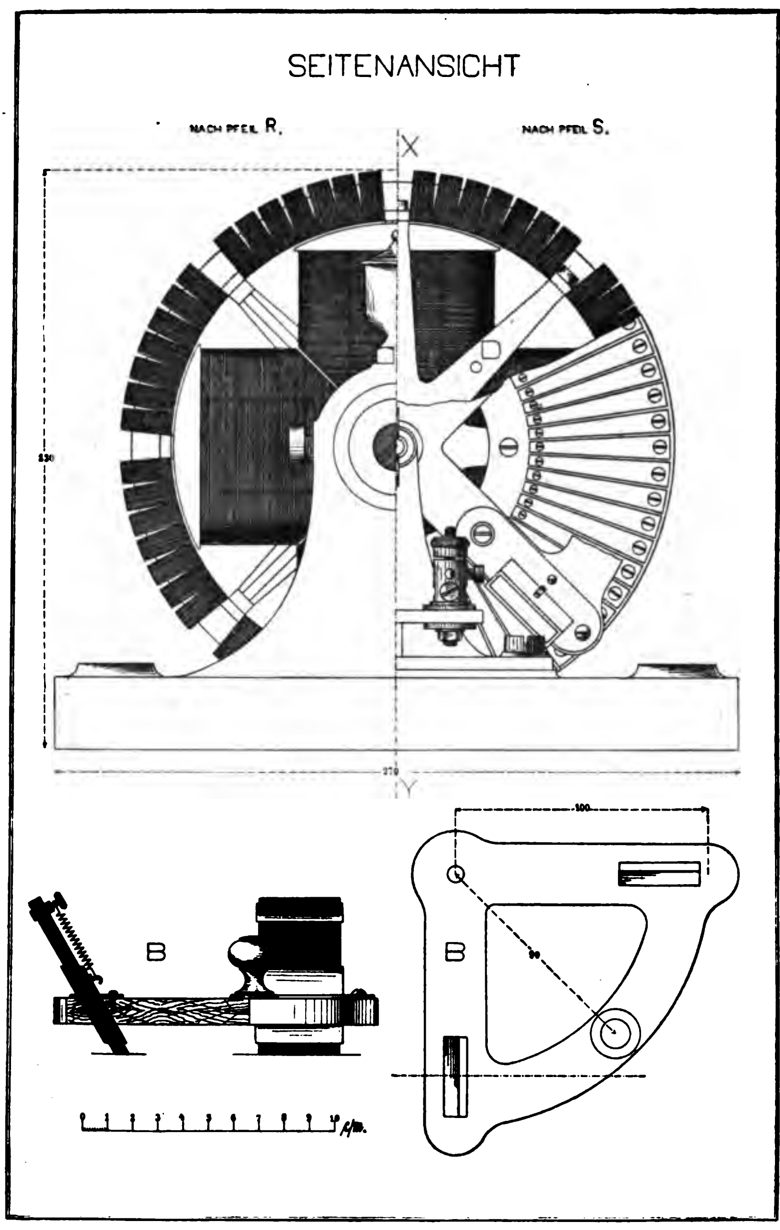


Fig. 53.

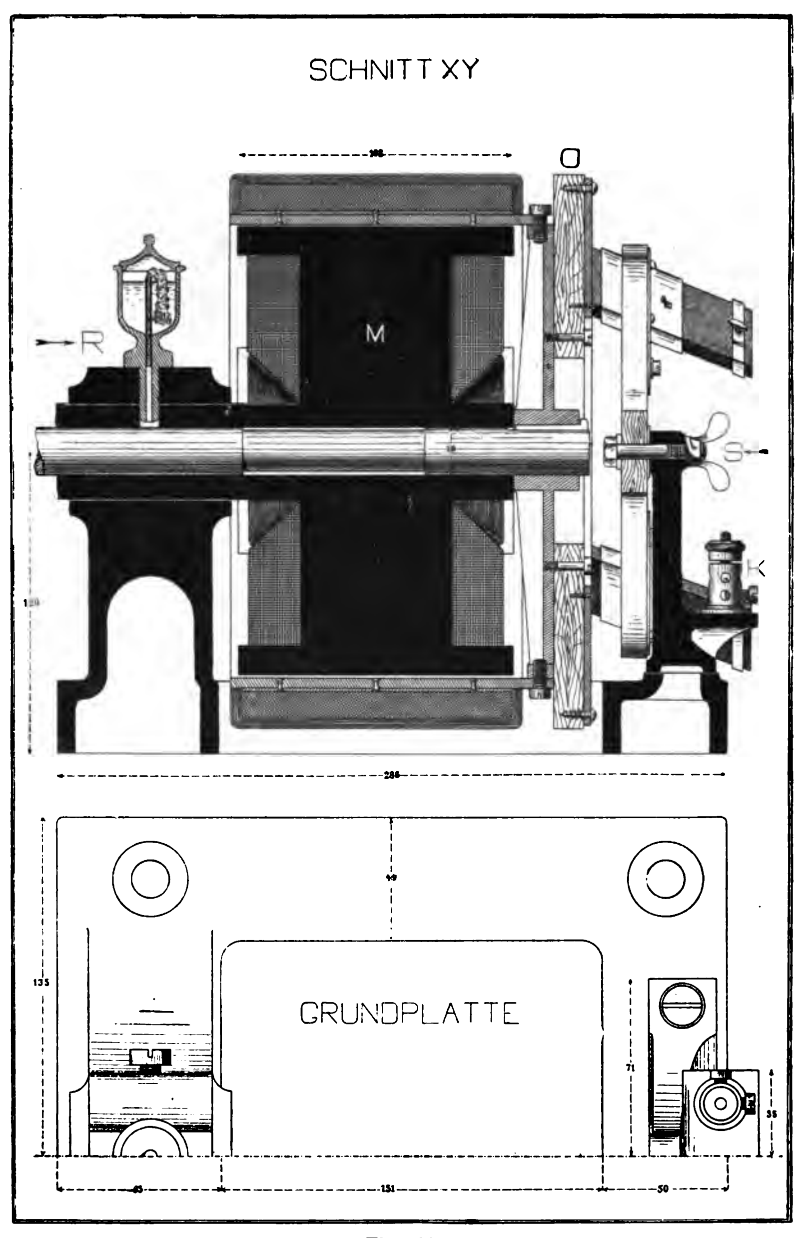


Fig. 54.

sam, daß genaue Detailzeichnungen, sowie alle Rohgußteile durch das Sekretariat des vom Verfasser begründeten städtischen Elektrotechnikums in Teplitz zu beziehen sind.

Die Maschine kann selbstredend verschiedene Bewickelung erhalten und wird demnach auch zu verschiedenen Zwecken Verwendung finden.

Die vier Magnete (M) sind aus Gußeisen hergestellt und zwar aus einem Stück. Dieselben haben eine Verbreiterung (Polschuh), welche natürlich zylindrisch abgedreht wird; ein zylindrischer Ansatz wird durch drei Schrauben in dem mit der Grundplatte verbundenen Ständer festgeschraubt, sodaß die Magnete fest stehen. Durch den Ansatz und die Mitte der vier Magnete geht eine Bohrung, welche als Lager für die Welle dient. Diese letztere trägt, durch eine Nabe verbunden, die acht Speichen aus Messing oder Bronze, welche durch darauf senkrecht angeschraubte, der Achse parallele Stahlstäbchen den Ring tragen. Dieser besteht aus einem Eisenblechzylinder (auf welchen jene Stäbchen angenietet sind), welcher mit Eisendraht bewickelt wird. Die Zahl der Spulen ist 48 (zwischen je zwei Speichen sechs Spulen, im Viertel 12). Die Verbindung der gegenüberliegenden Spulen, nach der Schaltungsweise von Mordey, kann hier sehr leicht am Umfange des bewickelten Ringes ausgeführt werden. (In der Zeichnung weggelassen.)

Die Konstruktion des Kollektors weicht wesentlich von derjenigen anderer Maschinen ab, indem derselbe nicht die übliche Zylinder-, sondern eine Scheibenform hat. Dies geschah aus zwei Gründen, einerseits, um eine leichte, einfache Herstellung zu ermöglichen, und anderseits, um an Raum zu sparen. Auf die acht Speichen wird eine Scheibe aus Holz (aus mehreren Teilen zusammengefügt) durch Schrauben befestigt. Auf dieser Scheibe sind nun die 48 aus 4 *mm* dickem Messingblech hergestellten Lamellen befestigt. An die größere, äußere Schraube wird der von der Spule kommende Draht angeschlossen.

Die aus Kupfergewebe hergestellten Bürsten (fertig käuflich zu haben) werden in einfacher Weise durch eine Feder an den Scheibenkollektor angedrückt. Bei den neueren Modellen werden Kohlenbürsten angewendet. Sie sind natürlich um 90^0 voneinander entfernt und müssen zwischen je zwei Magnetpolen schleifen. Bei Bewickelung, wie unten angegeben, leistet die Maschine 10 Ampère und 30 Volt.

Magnetdraht: 1 *mm*, Spulendraht: 0,6 *mm*. Zahl der Lagen in

einer Spule aufeinander: 4, nebeneinander 9, Zahl der Spulen: 48. (Die Zeichnung zeigt fälschlich 56 Spulen.)

In Fig. 55 bringe ich, vielen ausgesprochenen Wünschen entsprechend, eine kleine Trommelmaschine. Ich habe bei dieser Konstruktion darauf Rücksicht genommen, dieses Maschinchen so einfach als nur irgend möglich herstellbar zu machen, sodaß ich hoffe, daß es bei einigem Geschicke selbst Dilettanten gelingen dürfte, dasselbe zu bauen.

Die Zeichnung ist so verständlich gehalten, daß ich mir wohl erlauben kann, nur die Wickelungsverhältnisse anzugeben. Dieselben sind folgende: Anker: 20 Spulen, bestehend aus zehn Lagen neben- und drei Lagen aufeinander eines Drahtes von 0,6 *mm* blank bezw. 1,1 *mm* isoliert. Über die Art der Wickelung siehe Seite 55. Hierbei möchte ich nur bemerken, daß es gut ist, je eine Hälfte der Drähte einer Spule auf einer Seite der Welle zu führen, wie dies auch die kleine Figur andeutet. Um die Spulen bequemer zu führen, sind in den Endscheiben der Trommel 20 schmale Einschnitte angebracht; in diese keilt man kleine Holzplättchen, welche die Spulen begrenzen. Magnete: Die Magnete werden mit Draht von 1 *mm* blank und 1,4 *mm* isoliert bewickelt, und zwar in 42 Lagen neben- und 14 Lagen aufeinander. Die Magnete werden aus Gußeisen hergestellt und nach dem Bewickeln auf die Grundplatte aufgeschraubt oder können mit derselben in einem Stücke gegossen werden.

Eine Maschine, welche gewissermaßen als Versuchsobjekt gelten kann, habe ich in Fig. 56 in ausführlicher Weise zur Darstellung gebracht. Die Maschine genügt für 10 bis 12 Glühlampen zu 16 Kerzen oder für ein Bogenlicht von 1000 Kerzen. Um von jeder Art Maschinen ein Beispiel zu haben, wählte ich hier den Grammeschen Trommelring; die Maschine ist nach dem sog. Kapp-Typus gebaut. Der Anker dieser Maschine wird sich wohl am leichtesten durch Aufwickeln von Eisendraht (etwa 2 *mm*) auf eine entsprechend gedrehte Holztrommel herstellen lassen. Die Wickelung des Ringes besteht aus 30 Spulen; jede Spule besteht aus sieben Lagen neben- und vier Lagen aufeinander; Drahtstärke 1 *mm* blank, 1,5 *mm* isoliert für den Anker und 2 *mm* blank, 2,5 *mm* isoliert für die Magnete. Die Dimensionen von Ring und Anker sowie alle übrigen der Maschine sind aus der Zeichnung leicht ersichtlich.

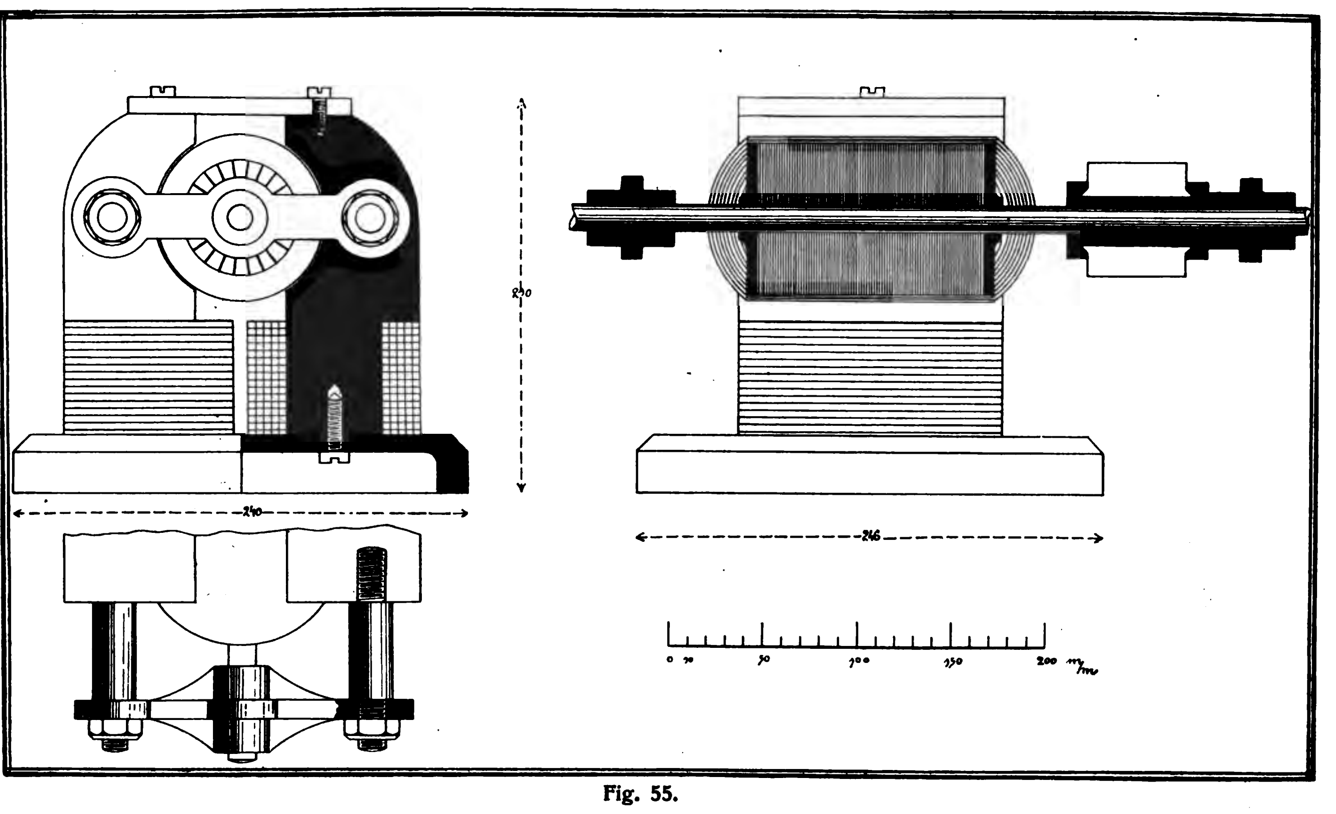


Fig. 55.

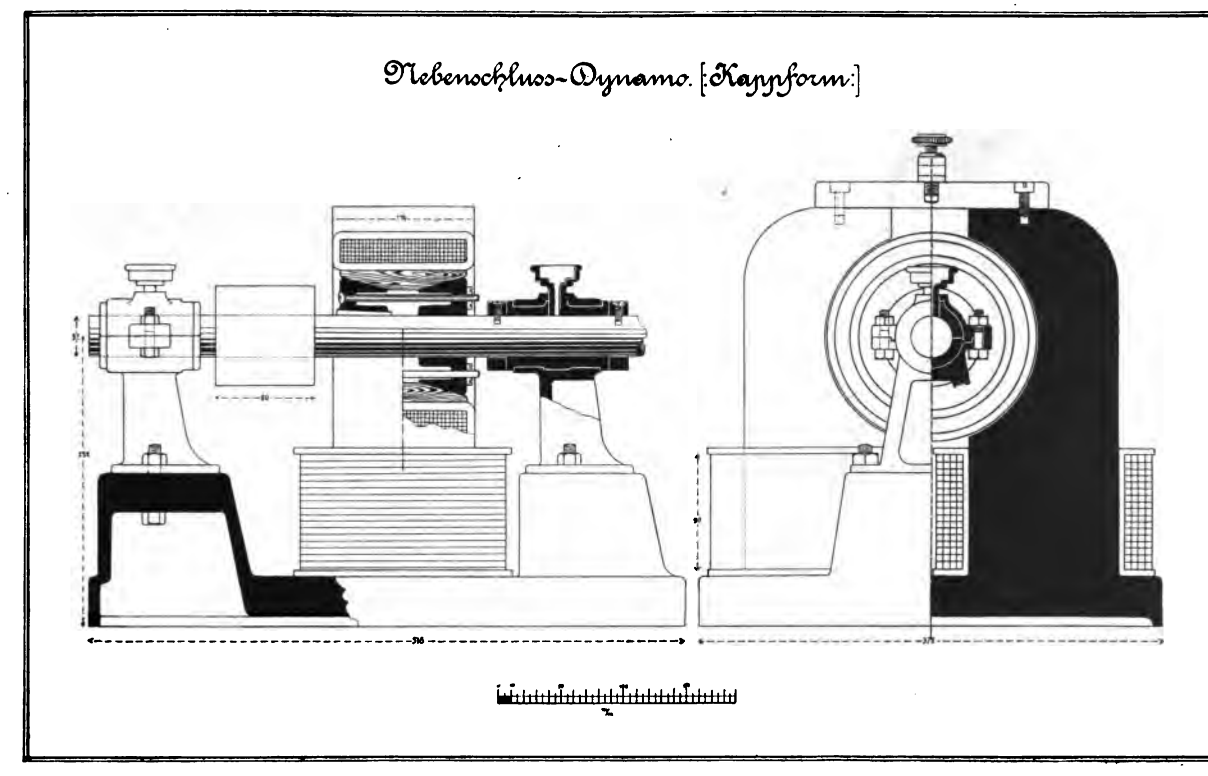


Fig. 56.

Die Fig. 57 bringt die Konstruktionszeichnung einer Hand-Dynamomaschine der Firma C. & E. Fein in Stuttgart mit Grammeschem Ring. In Fig. 58 haben wir eine Flachringmaschine nach dem Typus Schuckert vor uns; dieselbe leistet bei 100 Volt Spannung 50 Ampère bei 1100 Touren. Die Zeichnung ist sehr klar, sodaß die Konstruktion daraus leicht ersichtlich ist. Der Ring besteht aus 1 *mm* (blank) Eisendraht und ist bei einem Durchmesser von 400 *mm* 60 *mm* breit. Er ist mit 40 Spulen von 2 *mm* (blank) Kupferdraht bewickelt; die Windungszahl der Spulen ist 20. Die Magnete sind 200 *mm* lang, haben einen Kerndurchmesser von 90 *mm* und sind bis zu einem äußeren Durchmesser von 170 *mm* bewickelt mit drei Lagen 5 *mm* (blank) und zehn Lagen 1 *mm* (blank) Kupferdraht. Es ist also, wie wir aus dieser Wickelungsangabe erfahren, diese Maschine eine Compounddynamo.

Sehr geeignet zur Selbstherstellung sind die beiden eigens von mir für die Leser dieses Buches konstruierten Maschinen, welche in folgendem kurz beschrieben werden. Bezüglich der Beschaffung der Rohteile sei auf die Bemerkung Seite 71, erste Zeile, verwiesen.

Fig. 59 gibt die Details eines Gleichstrommotors für $^1/_8$ PS; Spannung: 220 Volt, Stromstärke 0,65 Ampère, 1800 Tonnen. Die Maße sind:

Ankerdurchmesser	80	*mm*
Ankerlänge	60	»
Ankerbohrung	15	»
Ankernutenzahl	20	»
Ankernutenbreite	6	»
Ankernutentiefe	9	»

Drahtstärke 0,35 *mm* blank, 0,5 *mm* isoliert. Pro Nute 120 Drähte. Totale Drahtlänge 410 *m* (0,4 *kg*). Der Kollektor hat 20 Lamellen. Die Magnetbewicklungen liegen im Nebenschluß und erhalten pro Spule 8000 Windungen eines Drahtes von 0,25 *mm* blank, 0,35 *mm* isoliert. Der Wirkungsgrad dieses Motors beträgt 65 %; für die Kleinheit desselben eine ansehnliche Leistung.

Die in den Figuren 60 und 61 in ihrer konstruktiven Zeichnung gebrachte Maschine leistet 1 PS bei 100 Volt. Genaue Zeichnungen (siehe Seite 71) sind vorrätig.

Hat man eine Maschine fertig gebaut, d. h. bewickelt und aufgestellt, um dieselbe einer Probe auf ihre Leistung zu unterziehen, so ist es vor allem notwendig, die Magnetleitung mit den Bürsten richtig

Handdynamo nach C. E. Fein & Co.

Fig. 57.



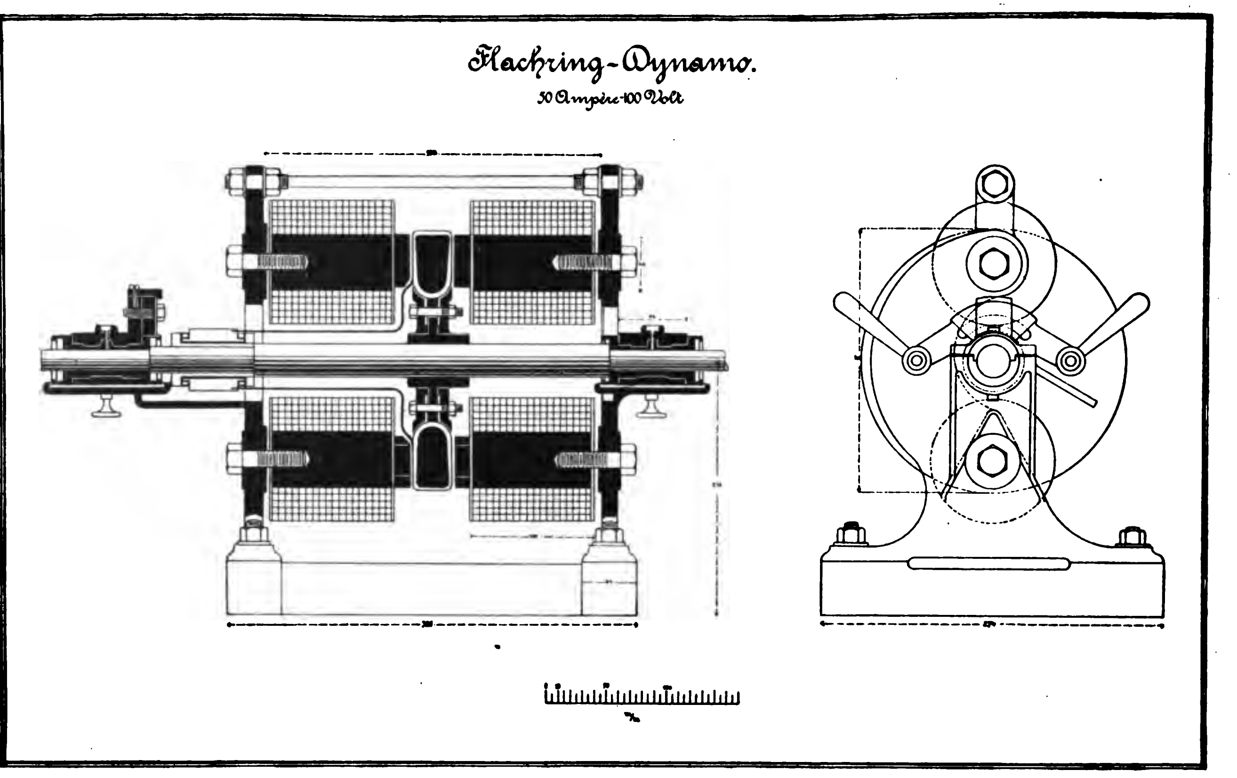


Fig. 58.

Gleichstrom-Motor 1/8 P.S.

220 Volt, 1800 Touren

Fig. 59.



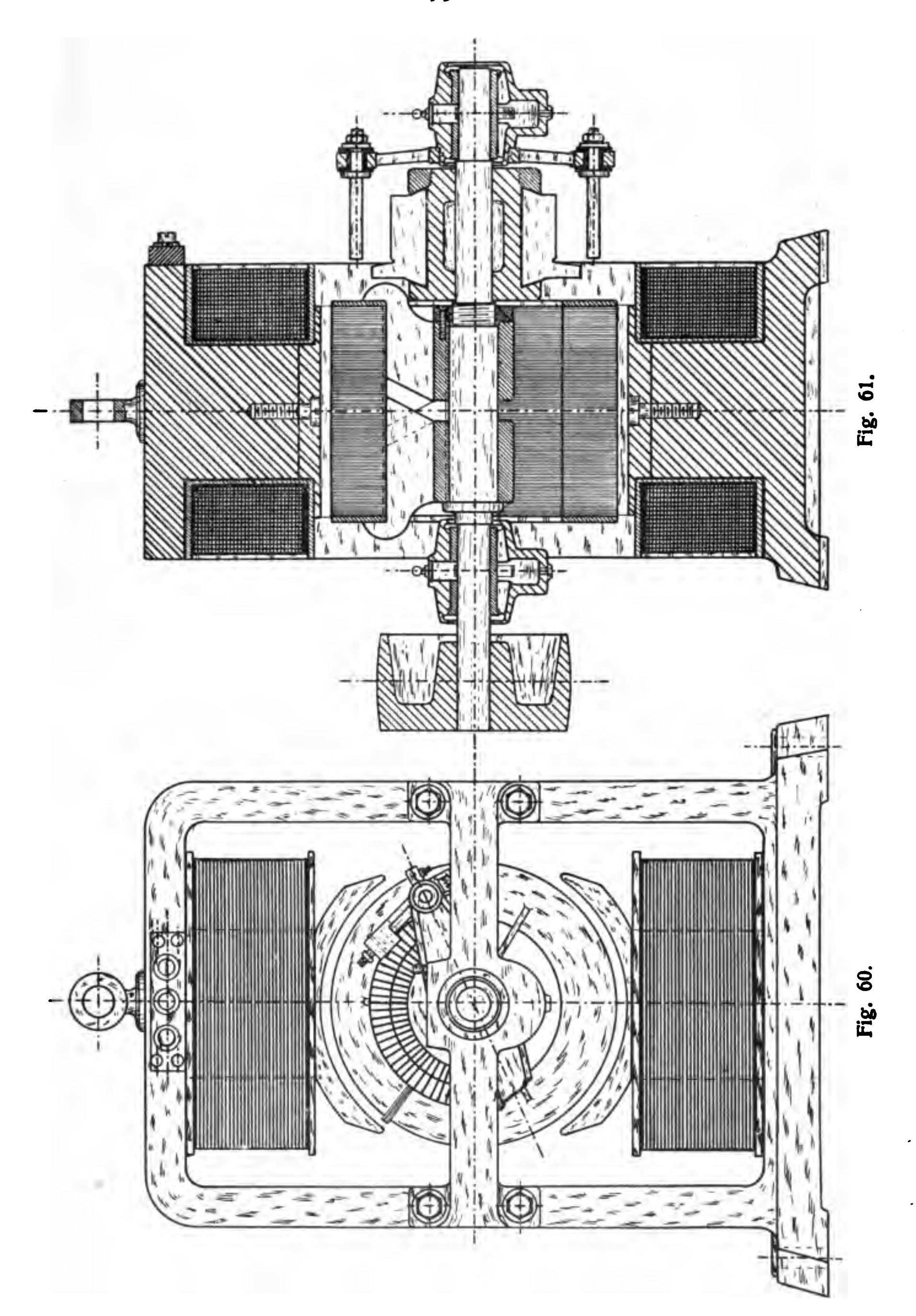


Fig. 61.

Fig. 60.

zu verbinden. Vor allem müssen die Magnete richtig untereinander verbunden werden, was man ja leicht mit Hilfe eines kleinen galvanischen Elementes und einer Magnetnadel bestimmen kann. Hat man nun die beiden Drahtenden bezeichnet und sich gemerkt, wo der positive Strom eintreten muß, um die richtige Polarität zu erzeugen, so handelt es sich nur mehr darum, die Enden mit den Bürsten zu verbinden. Um nun zu erfahren, aus welcher Bürste der positive Strom tritt, verbindet man die beiden Magnetdrahtenden mit einem galvanischen Element und läßt nun den Ring rotieren; ist alles in Ordnung, so wird man sofort bei leichtem Abheben der Bürste kleine Fünkchen bemerken — ein Zeichen, daß bereits in der Armatur ein Strom vorhanden ist. Nun ist es leicht, mit Hilfe des Polreagenzpapieres (Seite 8) die Stromrichtung zu bestimmen und sodann die Magnetleitung entsprechend anzuschließen.

Erst wenn dies geschehen, läßt man die Maschine auf irgend einen Widerstand arbeiten. Ist es eine Lichtmaschine, so schaltet man am geeignetsten Glühlampen parallel.

Man wird bei diesem Versuche ein Voltmeter an die Bürsten schalten, um die Spannungsverhältnisse beurteilen zu können, und ebenso einen Tourenzähler zur Hand haben.

Solch eine Probe soll aber mindestens einige Stunden dauern, um sich über Erwärmung der Maschine usw. zu orientieren.

Hat die Probe ein günstiges Resultat ergeben, so geht man nun an die Fertigstellung des äußeren Kleides der Maschine; sie wird mit guten Farben gestrichen, polierfähige Teile werden poliert usw.

Sechstes Kapitel.

Beschreibung einiger Gleichstrommaschinen.

Demjenigen, der sich mit der Absicht trägt, eine Maschine zu bauen, kann nicht genug angeraten werden, sich mit der Bauart verschiedener Maschinen durch Anschauung vertraut zu machen. Da dies aber in den seltensten Fällen an Originalen selbst möglich ist, so glaube ich meinem Leser einen Dienst erweisen zu können, wenn ich nun eine Reihe von Maschinen in guten Abbildungen, aus welchen sich sehr viel lernen läßt, bringe. Wer diese Maschinen mit Auf-

merksamkeit und Überlegung betrachtet, wird so manchen Anhaltspunkt, so manchen Fingerzeig für seine eigene Konstruktion finden.

Wir wollen, entsprechend dem früheren, von der Ring-Maschine ausgehen.

Bemerkt sei hier, daß jede Dynamomaschine auch als Motor Verwendung finden kann durch einfache Umkehrung des Vorganges. Sendet man nämlich durch die Maschine einen Strom, der demjenigen entspricht, welchen die Maschine selbst hervorbringen kann,

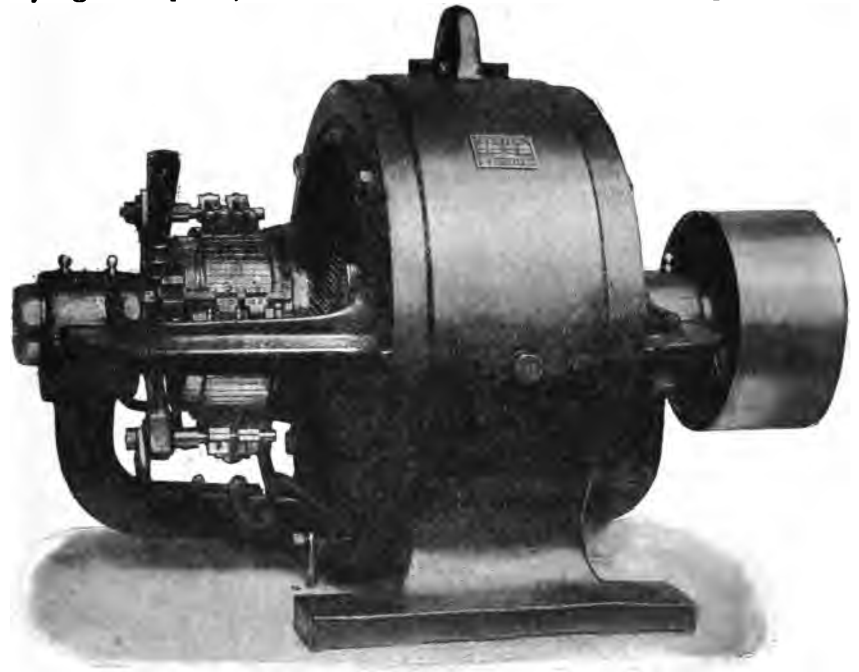


Fig. 62.

so wird die Armatur derselben in Rotation versetzt und wird nun selbst Arbeit leisten können.

Hierbei ist zu bemerken, daß die Bürstenstellung eine andere ist: Während bei der stromerregenden Maschine die Bürsten im Sinne der Rotation aus der neutralen Zone geschoben sind, müssen dieselben beim Motor gerade entgegengesetzt, also gegen die Rotationsrichtung aus der neutralen Zone verschoben werden.

Die Anwendung des Starkstromes zu galvanoplastischen Zwecken findet immer mehr und mehr Verbreitung. Unter den Maschinen

dieser Gattung sind diejenigen der Firma C. & E. Fein in Stuttgart ganz besonders hervorzuheben. Die in Fig. 62 gebrachte Maschine zeichnet sich durch den soliden, kräftigen Bau, bei möglichst nieder gelagerter Welle aus.

Fig. 63 bringt eine 4polige Innenpolmaschine, Fig. 64 eine ebensolche Maschine direkt gekuppelt mit einer Dampfmaschine zur Anschauung; beide Maschinen von C. & E. Fein in Stuttgart.

Die in Fig. 63 abgebildete Innenpolmaschine wurde bereits im Jahre 1887 von der Firma C. & E. Fein in Stuttgart konstruiert.

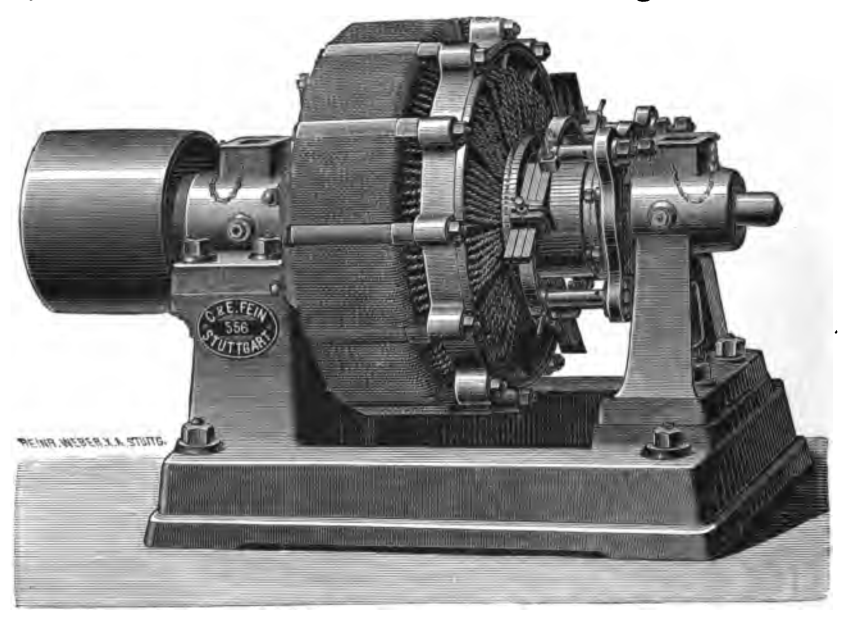


Fig. 63.

Die Figur zeigt den Ring mit abgenommenem Schutzkasten, der denselben vollständig umschließt. Die Maschine zeichnet sich, wie alle Erzeugnisse dieser Firma, durch Eleganz und Solidität aus. Bei den größeren Maschinen dieses Modells lassen sich die Bürsten durch eine besondere Vorrichtung gleichzeitig auf den Kollektor legen, beziehungsweise abheben. Diese Maschinen werden in jeder beliebigen Größe bis zu mehreren Hundert Pferdekräften gebaut.

Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. baut Dynamos und Motoren von 0,1 PS bis zu den höchsten Leistungen. Die früher für die Firma Schuckert typische Flachringmaschine ist

ihres komplizierten Aufbaues wegen jetzt aufgegeben, und sind die neueren Maschinen, 2polige wie mehrpolige, mit Trommel- bezw. Trommelringanker ausgeführt.

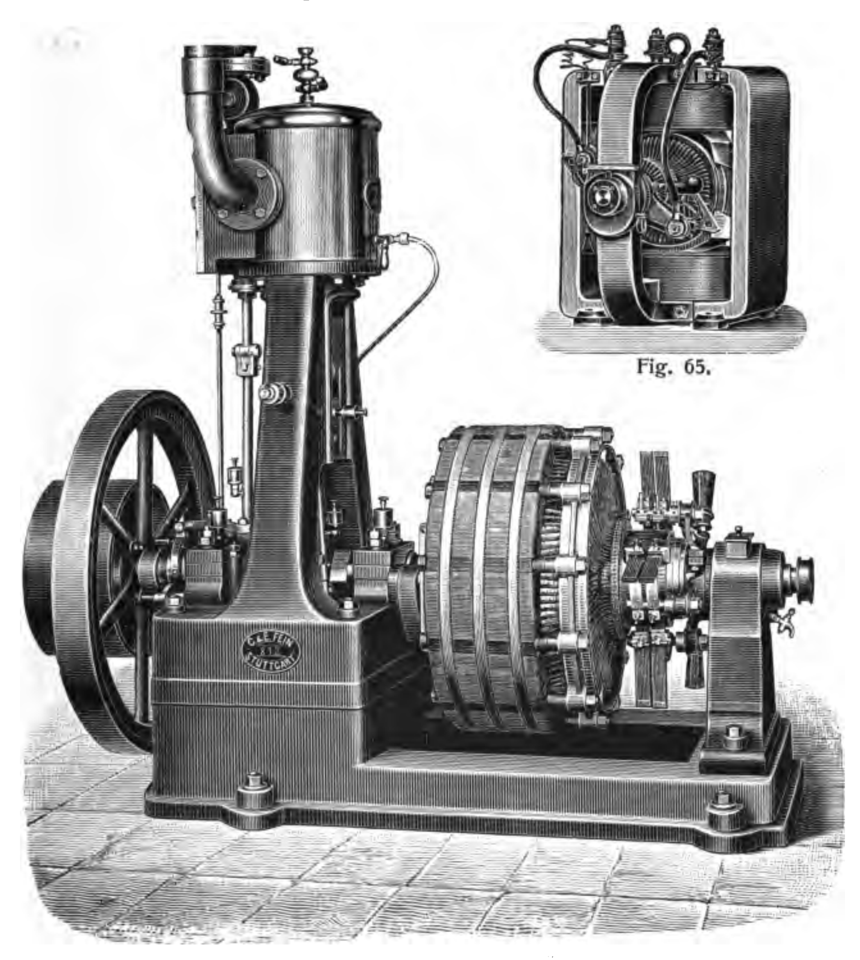


Fig. 65.

Fig. 64.

In Fig. 65 ist eine 2- und Fig. 66 eine 4polige Schuckertsche Maschine dargestellt, während Fig. 67 eine große 14polige Maschine derselben Firma zeigt. Speziell als Motoren für das Kleingewerbe und zwar bis zu einer Leistung von 15 eff. PS, dient die Type Modell A, welche wir in Fig. 68 abgebildet haben.

Die Fig. 69 zeigt uns den Längsschnitt, die Fig. 70 eine Ansicht einer 4poligen Dynamomaschine, wie sie von der Berliner Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft vormals Schwartzkopff gebaut werden. Ein



Fig. 66.

gußeiserner Rahmen trägt vier kräftig gehaltene Magnete, welche auf die Grammesche Armatur wirken. Der Kern des Ringes besteht aus 0,5 *mm* dicken Blechscheiben; die Wickelung liegt in Nuten. Eine Eigentümlichkeit ist der Kollektor, dessen Lamellen aus Stahl hergestellt sind und der bei funkenlosem Gang der Maschine sich als sehr haltbar erwiesen hat. Die ganze Konstruktion ist höchst einfach, aber solid gehalten.

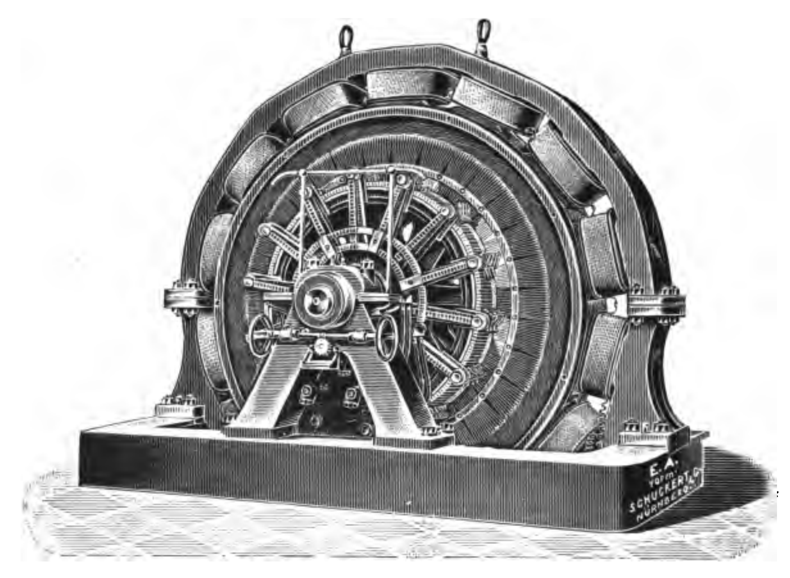


Fig. 67.

Sehr hübsch ist in Fig. 69 die Konstruktion der fast allgemein eingeführten Ringschmierung zu ersehen.

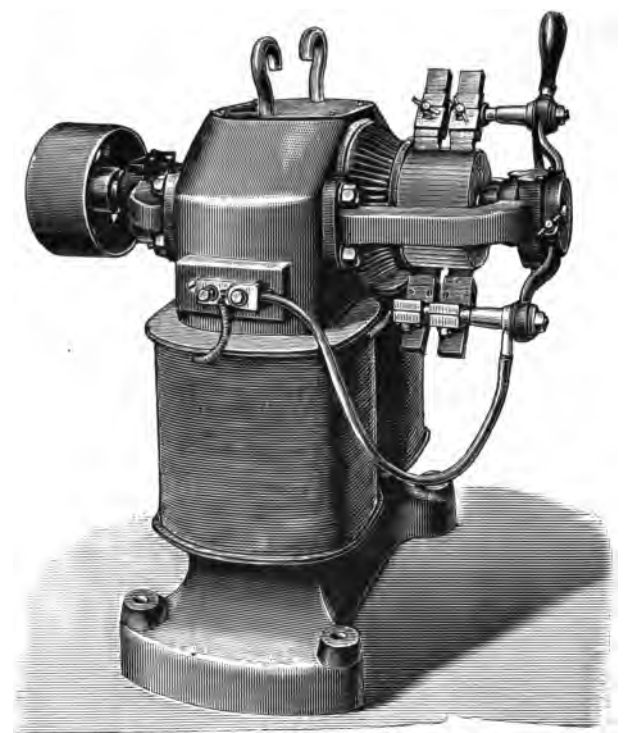


Fig. 68.

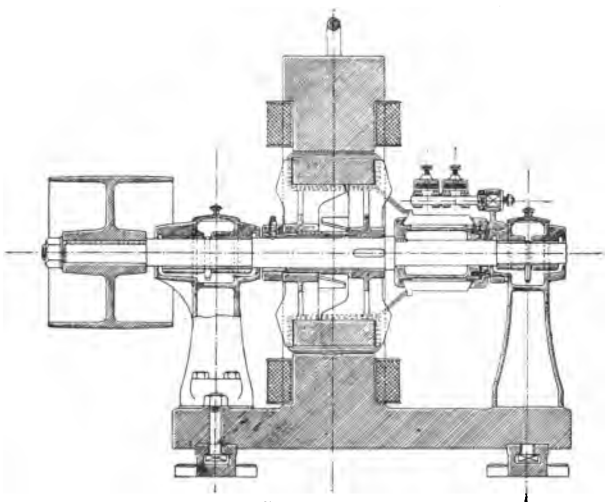


Fig. 69.

Fig. 71 bringt eine Abbildung einer 4poligen Maschine, welche von der Firma R. Bartelmus in Brünn gebaut wird und bei 1000 Touren eine Leistung von 180 Ampère und 120 Volt hat.

Einige Daten seien hier gegeben: Ankerwiderstand 0,025 Ohm, Magnetwiderstand 24 Ohm, Gewicht des Gestelles 1160 *kg*, des Ankerdrahtes 13 *kg*, des Magnetdrahtes 185 *kg*.

In Fig. 72 bringen wir eine Abbildung der Maschine von Bürgin, deren Armatur bereits früher, Seite 58, besprochen wurde; es ist klar, daß diese Type nun auch schon der Vergangenheit angehört.

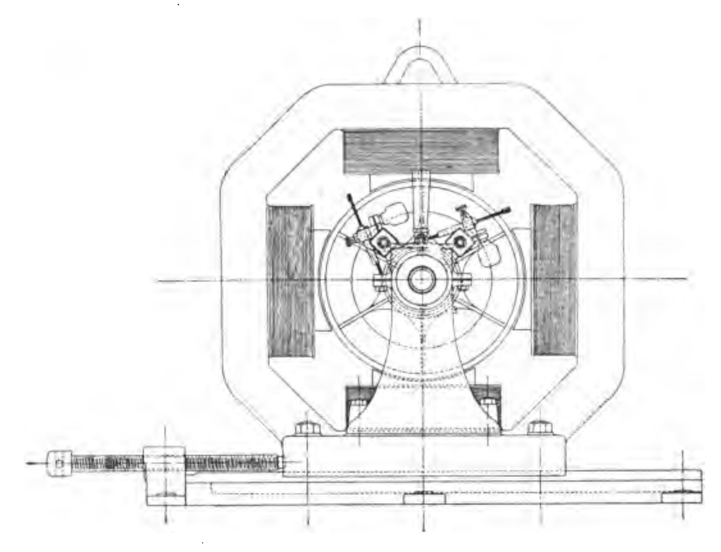


Fig. 70.

Fig. 73 zeigt eine Abbildung des Typus NG der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Der Anker besteht aus einer gußeisernen Hohltrommel, welche durch kräftige Speichen von zwei Naben getragen wird, mit welchen dieselbe auf der Welle sitzt. Die den Flügeln eines Ventilators ähnlich gestalteten Speichen führen eine kräftige Ventilation herbei. Auf diese Hohltrommel werden die den eigentlichen Kern der Armatur bildenden Blechscheiben aufgeschoben. Die Wickelung besteht aus einer einzigen Lage rechteckiger Kupferstäbe, welche an den Enden durch einen sog. Hilfskollektor miteinander und dem Kollektor verbunden sind.

Eine Eigentümlichkeit dieser Maschine ist das Magnetsystem mit seiner Polbuchse, welches der A. E.-G. patentiert ist. Sie besteht

aus einem starken, gußeisernen Hohlzylinder, welcher die dem Anker zugekehrten Enden der Magnete miteinander verbindet und dadurch einen magnetischen Nebenschluß zu dem Ankereisen, jedoch von

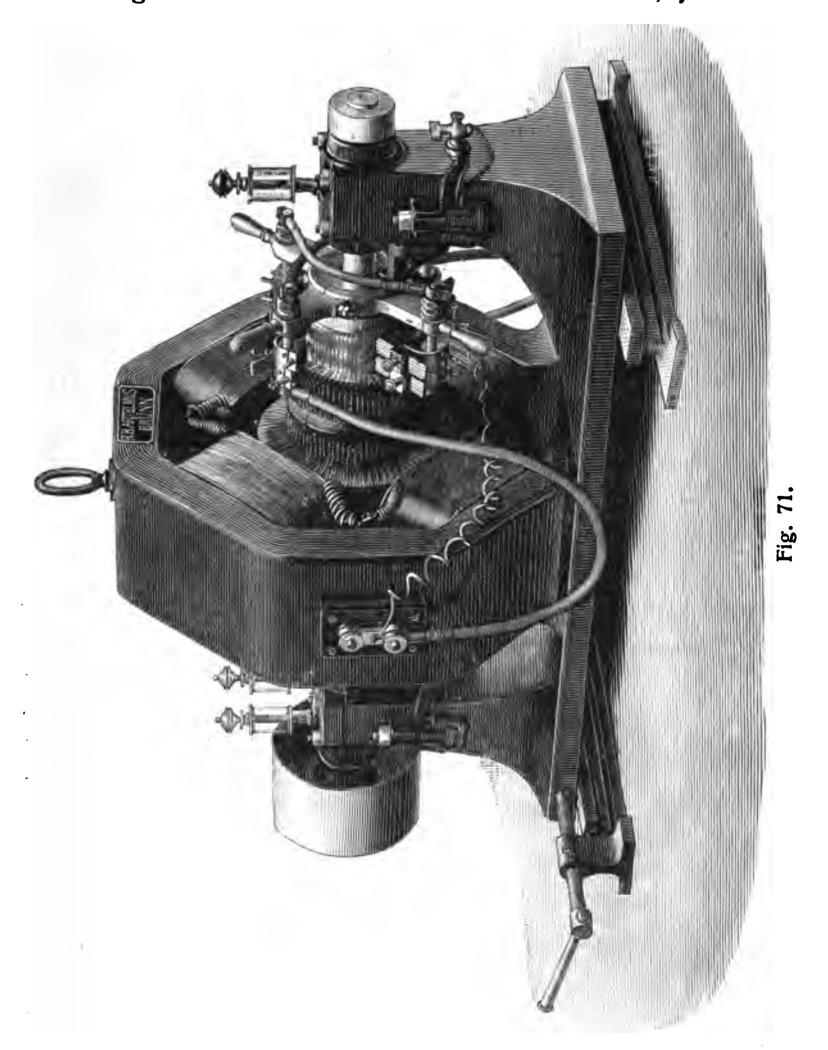


Fig. 71.

relativ sehr kleinem Leitungsvermögen bildet. Diese Anordnung hat den Zweck, die Funkenbildung zu vermeiden, und bewirkt, daß die Grenze des magnetischen Feldes weniger scharf wird, oder, was dasselbe bedeutet, daß der Übergang eines Ankerdrahtes aus der neu-

tralen Zone in ein starkes magnetisches Feld weniger plötzlich erfolgt, als dieses ohne besondere Hilfsmittel bei der geringen Sättigung des

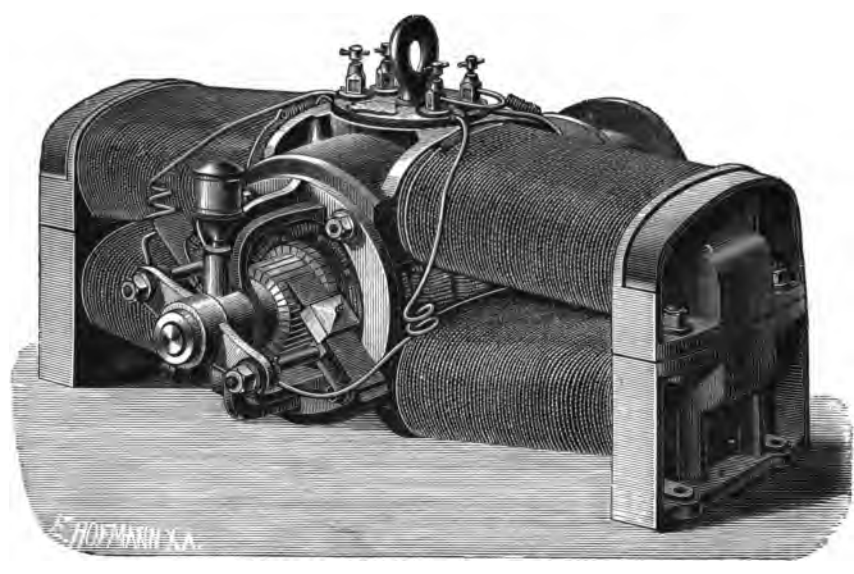


Fig. 72.

Ankereisens und bei dem kleinen Abstand desselben vom Pol der Fall sein würde. Durch die Anwendung der Polbuchse vollzieht sich der Polwechsel allmählich, und es lassen sich, wie die Erfahrung gezeigt hat, die Bürsten mit Leichtigkeit vollständig funkenlos einstellen.

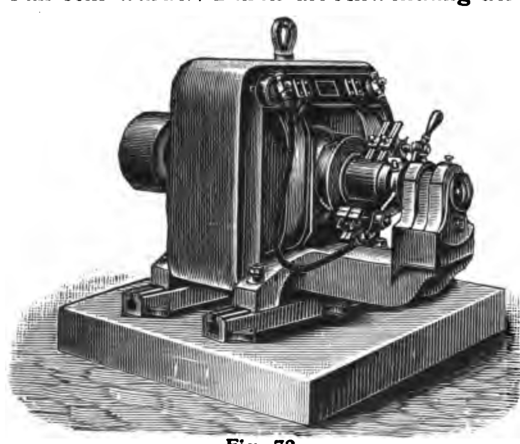


Fig. 73.

Die Lager sind mit Ringschmierung versehen, welche sich durch ihre einfache Bedienung und Zuverlässigkeit bewährt hat. Diese Maschinen werden in fünf Größen mit Tourenzahlen von 1700 bis 970 Touren für 25 bis 50 Ampère bei 65 bis 220 Volt gebaut.

Für größere Leistungen, und zwar von 18000 bis zu 72000 Watt, werden mehrpolige Maschinen der Type Modell G, wie eine 4polige in Fig. 74 abgebildet ist, gebaut.

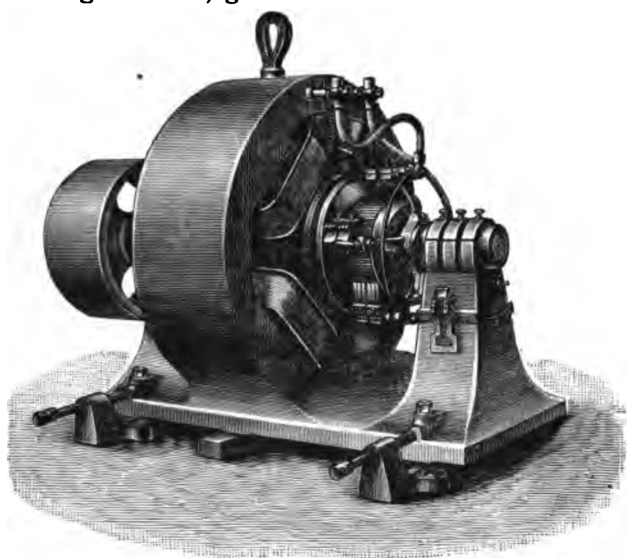


Fig. 74.

Diese Maschinen werden für Spannungen von 65, 90, 120, 150, 240, 300 und 440 Volt konstruiert und finden auch als Elektromotoren Verwendung, im letzteren Fall mit Spannungen von 120, 220 und 440 Volt, die größte Type auch mit 560 Volt.

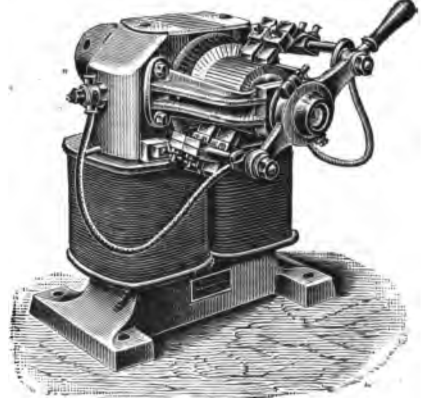


Fig. 75.

Fig. 75 zeigt das Modell S und NS, welches insbesondere zu mancherlei Zwecken als Motor Verwendung findet.

Die Fig. 76 und 77 bringen Abbildungen von Maschinen der Union-Elektrizitätsgesellschaft nach dem System Thomson-Houston.

Die von dieser Gesellschaft gebauten Dynamos für Gleichstrom werden in mehreren Typen gebaut, von welchen hier einige besprochen werden sollen.

Speziell diese hier abgebildete Maschine dient sowohl für Kraftübertragung bei einer Primärspannung von 500 Volt als auch zu Beleuchtungszwecken. Die Maschinen werden auch als 6-, 8- und

Fig. 76.

10polige Maschinen mit Leistungen bis zu 800 Kilowatt bei einer Umdrehungszahl von nur 100 per Minute gebaut. Eine 6polige Maschine dieser Art für direkte Kuppelung sehen wir in Fig. 76.

Die in Fig. 78 abgebildete Maschine erweckt in uns ein erhöhtes



Interesse dadurch, daß diese Maschine auf den ersten Blick nur als 2polig erscheint, während dieselbe tatsächlich eine 4polige Maschine ist. Durch die Anordnung der Magnetspulen und die Form des Magnetgestelles entstehen nämlich außer den beiden gegenüberliegenden, ich möchte fast sagen Hauptpolen, zwei abermals gegenüberliegende sogenannte Folgepole, wie dies aus den schematischen Fig. 79

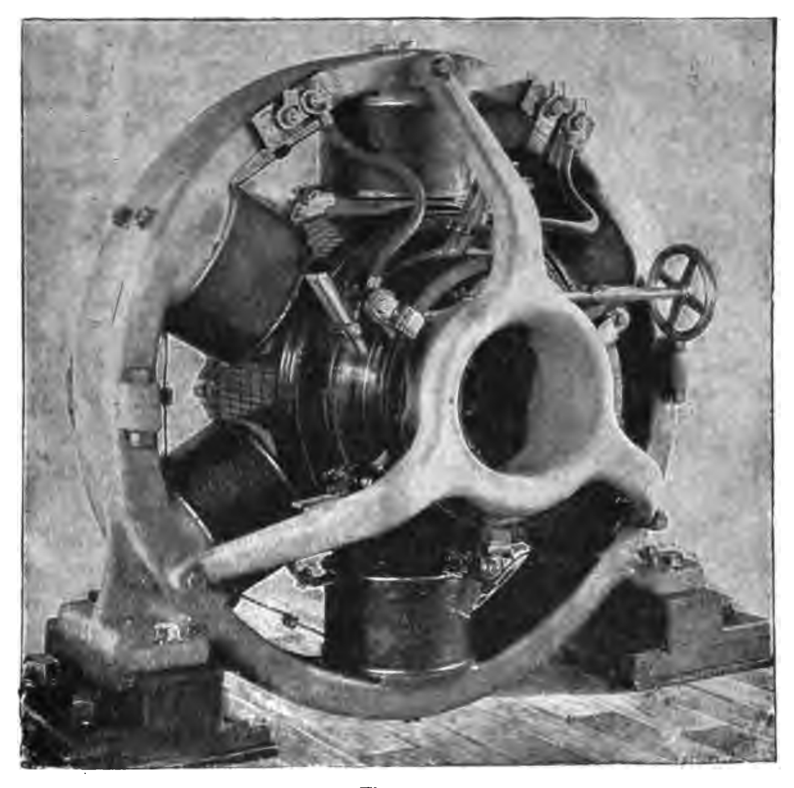


Fig. 77.

und 80 ersichtlich ist. Durch diese Anordnung ist es ermöglicht, daß die Maschinen, welche speziell für motorische Zwecke gebaut werden, bei großer Kraftleistung einen verhältnismäßig geringen Raum einnehmen. Außerdem erkennen wir aus der Anordnung der Magnete, daß die magnetische Streuung eine geringe sein muß. Vierpolige Motoren bieten überhaupt den Vorteil eines größeren Anlaufmomentes, und daher ist die Anwendung einer Leerlaufscheibe überflüssig. Diese Type wird für Leistungen von 1,5 bis 10 PS gebaut.

Der Helios, Elektrizitäts-Aktiengesellschaft in Köln-Ehrenfeld, baut außer geschlossenen Motoren und Dynamos für kleine Betriebe vor allem 4- und mehrpolige Maschinen, welche sich durch Einfachheit der Konstruktion und genaue Abgleichung der Eisen- und Kupfermassen vorteilhaft auszeichnen. Es war bei der Ausarbeitung dieser Konstruktionen besonders Gewicht auf eine gewisse Einheitlichkeit des Maschinentypus gelegt; die kleineren Maschinen dieser Gattung sind, wie die Abbildung Fig. 81 zeigt, 4polig aus Stahlguß ausgeführt, die nächstgrößeren aus Eisenguß mit Stahlpolen. Die Stromabnahme erfolgt durchgängig mit Kohlenbürsten, welche die infolge ihrer eigenartigen Konstruktion äußerst gut ventilierten Kollektoren mit breiter Fläche berühren. Die größten Typen werden als Schwungradmaschinen ausgeführt, deren Bau der Helios seit dem Jahre 1882 als Spezialität ausgebildet hat.

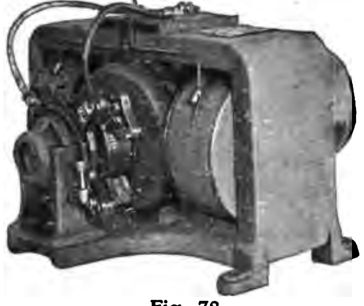


Fig. 78.

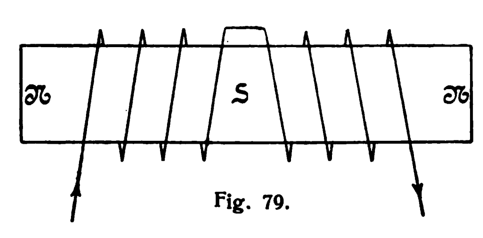


Fig. 79.

Eine Maschine, bei welcher eine Streuung der Kraftlinien ausgeschlossen ist und die daher nach außen unmagnetisch erscheint, ist die in Fig. 82 abgebildete Lahmeyer-Maschine der Deutschen Elektrizitätswerke zu Aachen. Die Maschine ist vollkommen gedeckt und niedrig gebaut und präsentiert sich sehr elegant. Daß diese Maschine als vorzüglich erkannt ist, beweist der große Absatz, welchen die Firma aufzuweisen hat. Die Fig. 83 gibt ein Bild eines Schnittes durch die Maschine, der für sich spricht. Dieses Modell wird in Größen von 1100 bis 66000 Voltampère gebaut.



Fig. 80.

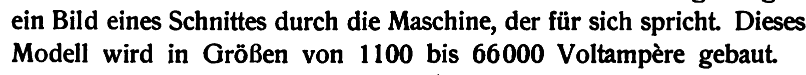




Fig. 84 gibt eine Abbildung einer Type der Licht- und Kraft-Aktiengesellschaft Sachsenwerk in Niedersedlitz bei Dresden.

Die in Fig. 85 dargestellte Dynamomaschine veranschaulicht eine mehrpolige Type der von Schumanns Elektrizitätswerk in Leipzig-Plagwitz ausgeführten Gleichstrommaschinen. Diese Maschinen sind



Fig. 81.

aus Stahlguß gefertigt und werden dadurch trotz sehr hoher Leistungsfähigkeit ziemlich klein und leicht. Der Anker dieser Maschinen ist ein Trommel-Nuten-Anker, und die Stromabnahme am Kommutator geschieht mittels Kohlenbürsten. Diese Maschinen arbeiten gleich gut als Dynamos wie als Motoren und werden für alle üblichen Spannungen angefertigt.

Fig. 82.

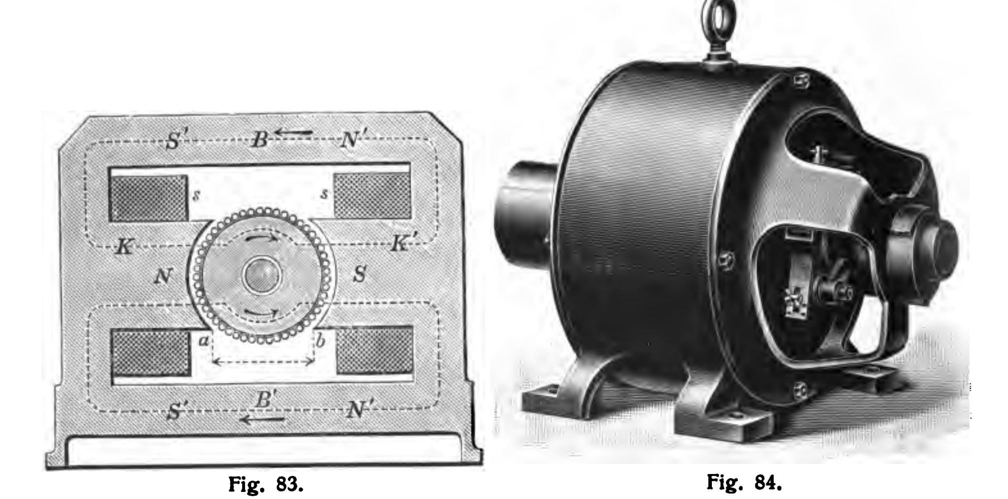


Fig. 83.

Fig. 84.

Siebentes Kapitel.

Die Regulier- und Anlass-Vorrichtungen.

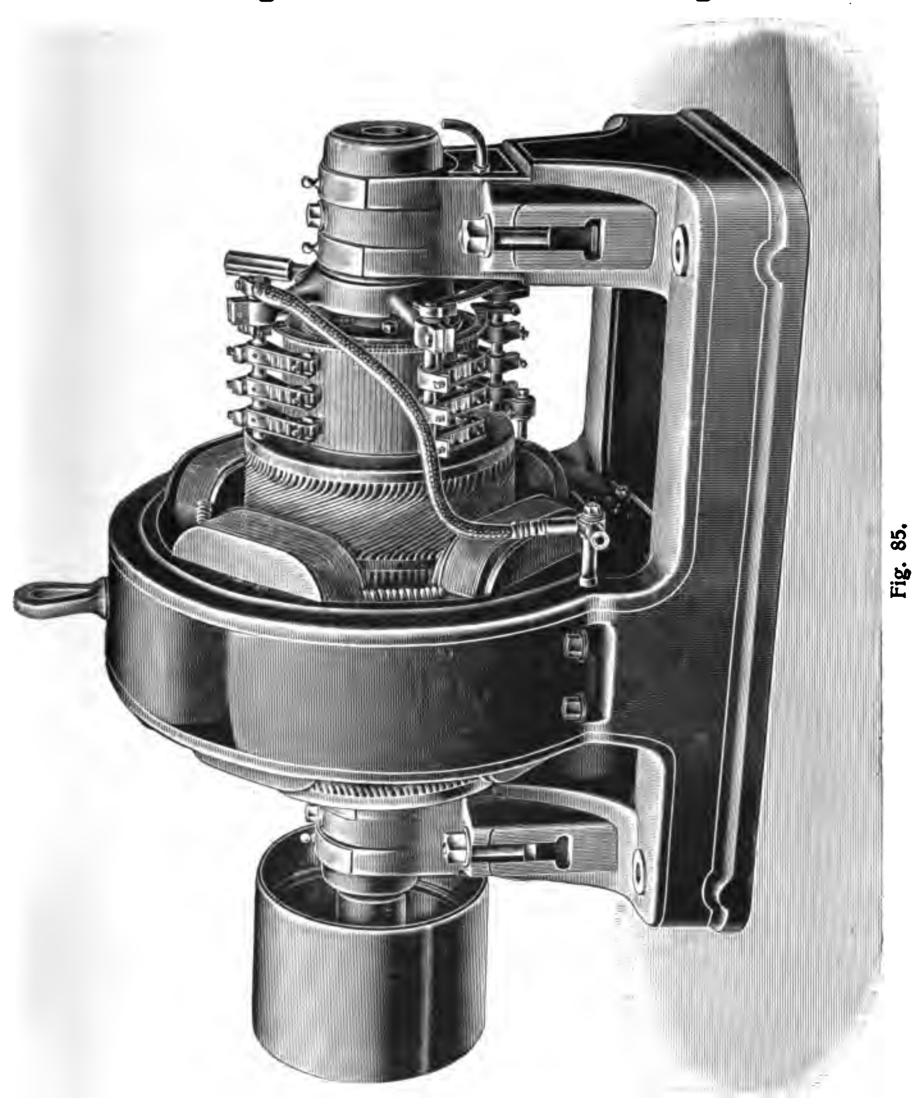


Fig. 85.

Einen sehr wichtigen Teil einer Anlage, sozusagen einen Bestandteil der Dynamomaschine, bildet der sogenannte Nebenschlußregulator. In der modernen Technik werden heute als stromerzeugende Maschinen

fast ausschließlich Nebenschlußdynamos verwendet, das sind solche Maschinen, bei welchen sich die Magnetbewickelung in Parallelschaltung zur Ankerwickelung befindet. Um nun die Spannung einer Maschine bei verschiedenster Belastung auf gleicher Höhe zu erhalten, ist es notwendig eine geringfügige Änderung in der Magneterregung hervorzubringen. Dies geschieht nun durch die Nebenschlußregulatoren, deren Einschaltung in die Leitung einer Maschine durch die Fig. 86 gekennzeichnet ist. Wir sehen hierbei, daß die Widerstände, welche aus Nickelin, Kruppin oder Rheotan usw. hergestellt sind, in veränderlicher Zahl in die Schenkelwickelung einzuschalten sind. Steigt die Spannung, so wird man mehr Widerstand, daher auch mehr Spiralen einschalten müssen, während bei sinkender Spannung eine Anzahl von Spiralen ausgeschaltet werden. Im ersteren Falle wird die Stromstärke in der Schenkelwickelung vermindert, im zweiten Falle hingegen verstärkt. Die Konstruktion eines solchen Regulators ist durch die Fig. 87 schematisch dargestellt.

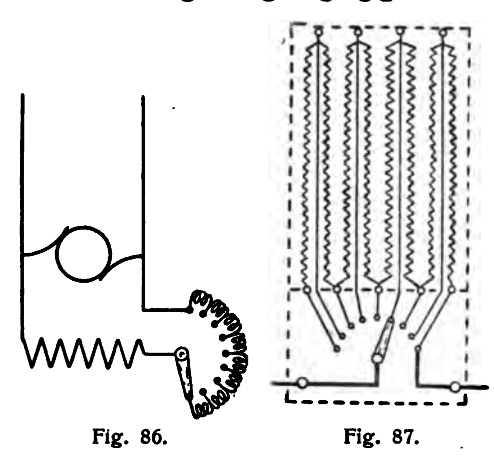


Fig. 86. Fig. 87.

Das Anlassen einer Dynamomaschine geschieht stets in der Weise, daß dieselbe vorerst auf die richtige Tourenzahl gebracht wird und sodann durch allmähliches Drehen des Regulatorhebels Widerstände nach und nach ausgeschaltet werden.

Das Regulieren erfolgt nun meistens von Hand aus, doch gibt es auch eine große Anzahl von automatischen Regulatoren, welche den Zweck haben automatisch die Spannung auf gleicher Höhe zu erhalten.

So reguliert eine Art der Automaten in der Weise, daß ein Voltmeter mit zwei Anschlägen, Kontakten, versehen ist, an welche der Zeiger bei zu niederer, bezw. zu hoher Spannung anstößt, und so einen Stromkreis schließt; in diesem Stromkreis befindet sich nun ein kleiner Elektromotor, welcher sich je nach dem unteren oder dem oberen Kontakte nach vor oder rückwärts dreht. Die Achse des

Motors betätigt nun ihrerseits durch Schneckenrad und Getriebe den Hebel des Regulators, wodurch mehr oder weniger Spiralen aus- oder eingeschaltet werden.

Wir haben hier eine Art der Automaten kurz charakterisiert; es soll damit nicht gesagt sein, daß diese Anordnung zu den vollkommensten gehört, doch zeichnet sie sich durch Einfachheit und Verständlichkeit aus; es gibt ja eine große Zahl von Konstruktionen.

Wir wo.len uns nun zur Besprechung der Anlasser für Motoren wenden.

Vor allem sei erwähnt, daß jede Dynamo im gewissen Sinne umkehrbar ist, das heißt jede Dynamo kann als Motor und jeder Motor als Dynamo Verwendung finden.

Jede Nebenschlußmaschine läuft in gleicher Richtung wie als Dynamo, sobald man ihr Strom zuführt. Nun kann man aber nur ganz kleine Maschinen, welche für höhere Spannung gebaut sind, direkt in eine Leitung einschalten, während man für größere Maschinen sich eines sogenannten Anlassers bedienen muß und dies aus folgendem Grunde.

Der Anker einer Dynamomaschine hat einen verhältnismäßig sehr kleinen Widerstand; würde man daher diesen Anker ohne jeden vorgeschalteten Widerstand in einen Stromkreis von entsprechender Spannung einschalten, so würde sich eine enorm hohe Stromstärke bilden, eine Stromstärke, welche unter Umständen so groß wäre, daß eine Gefährdung der Maschine die Folge davon sein könnte. Der ruhende Anker würde eventuell verbrennen; zumindest aber würden die Bürsten und daher auch der Kollektor größten Schaden nehmen können. Ist aber der Anker eines Dynamomotors in Bewegung, während die Schenkel bereits erregt sind, so entwickelt sich in den Windungen desselben eine gegenelektromotorische Kraft, welche wie ein Widerstand aufzufassen ist, und es kann sich daher auch keine große Stromstärke bilden.

Die Anlasser sind nun unter Berücksichtigung dieser Umstände wie folgt konstruiert: Durch Bewegen eines Hebels wird vor allem der Strom in die Magnetbewickelung geleitet und erst nachdem dies erfolgt ist, hat der Strom die Möglichkeit in den Anker zu fließen, jedoch nicht anders als durch sämtliche vorgeschaltete Widerstände. Ist nun einmal der Anker in Bewegung, dann ist es erlaubt nach und nach die Widerstände auszuschalten, was durch die Weiter-

bewegung des Hebels erfolgt. Die Fig. 88 gibt die schematische Darstellung eines derartigen Anlassers.

Die Tourenregulierung ist mit Hilfe besonderer Anlasser ermöglicht, deren Schema die Fig. 89 bringt. Ein Motor läuft mit erhöhter

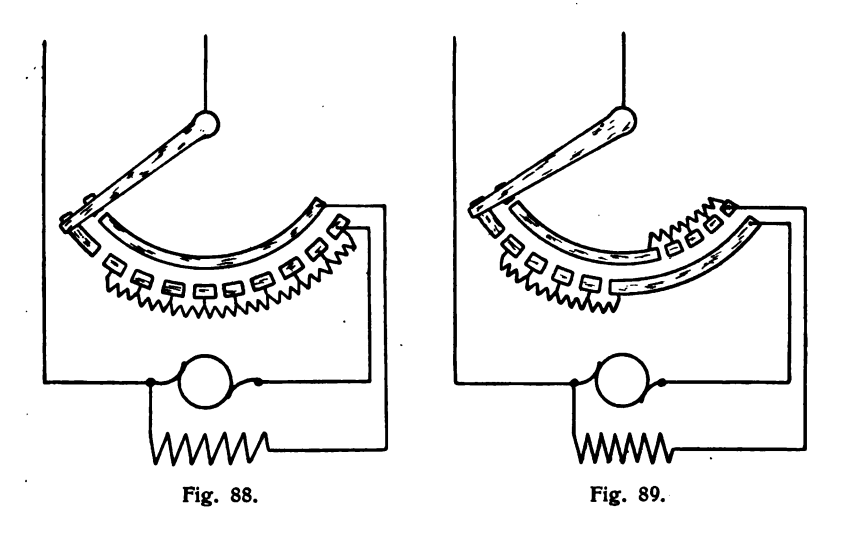


Fig. 88. Fig. 89.

Tourenzahl, sobald man das Feld abschwächt. Dies kann aber dadurch erfolgen, daß man in die Windungen der Magnete einige Widerstandsspiralen einschaltet. Aus der zuletzt genannten Figur ist auch diese Anordnung zu ersehen.



Achtes Kapitel.

Die Wechselstrommaschinen.[1])

Unter Wechselstrom versteht man einen galvanischen Strom, der seine Richtung periodisch wechselt und bei jedem Wechsel seine Intensität von 0 bis zu einem Maximalwert und von da wieder bis zu 0 verändert.

Die einfachste Art einer Wechselstrommaschine ist diejenige, welche wir auf den Seiten 38 und 39 besprochen und dargestellt haben, nämlich diejenige mit dem Siemensschen Induktor. Jede Wechselstrommaschine setzt zur Erregung ihrer magnetischen Felder den Strom einer Gleichstromdynamo voraus.

Große Bedeutung haben die Wechselstrommaschinen neuerer Zeit erhalten, indem es durch Kombination dieser und eigentümlicher Umwandlungsapparate (Transformatoren) möglich geworden, den elektrischen Strom viele Meilen weit zu leiten, was mit dem Gleichstrom zu teuer, ja undurchführbar wäre. Die Wechselstrommaschinen liefern sehr hohe Spannung bei verhältnismäßig kleiner Ampèrezahl. Hierdurch kann man entsprechend schwache Leitungen legen und demnach auf große Entfernungen den Strom leiten.

Da aber die hohen Spannungen zu Zwecken der Beleuchtung aus mehrfachen Gründen, unter anderem auch deshalb nicht verwendbar sind, weil für die Konsumenten durch zufällige Berührung blanker Teile Gefahr erwächst, wird dieser hochgespannte Strom mit Hilfe der Transformatoren in einen Strom geringer Spannung (meist 100 Volt) und entsprechend großer Stromstärke verwandelt, welcher zur Verwendung kommt.

Die Wechselstrommaschine ist die einfachste Maschine, welche man sich denken kann. Eine Anzahl von Spulen rotiert an eben so vielen Magneten dicht vorbei, wodurch in den Spulendrähten Ströme wechselnder Richtung entstehen. Häufiger läßt man, besonders bei großen Maschinen, die Magnete rotieren, während die Spulen ruhen. Auf diese Weise gebaute Maschinen erlauben ein Auswechseln einer oder der anderen Spule während des Betriebes im Falle eines Schadhaftwerdens derselben.

---

[1]) Siehe: Biscan, Der Wechselstrom und die Wechselstrommaschinen, Leipzig, Oskar Leiner.

Im folgenden bringen wir einige Abbildungen typischer Wechselstrommaschinen:

Die Wechselstrommaschine von Kapp, Fig. 90, ist mit ihrer Erregermaschine auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert und zwar derart, daß nur eine Welle für beide Armaturen vorhanden ist, also auch nur ein Antrieb erforderlich ist. Diese Maschine leistet

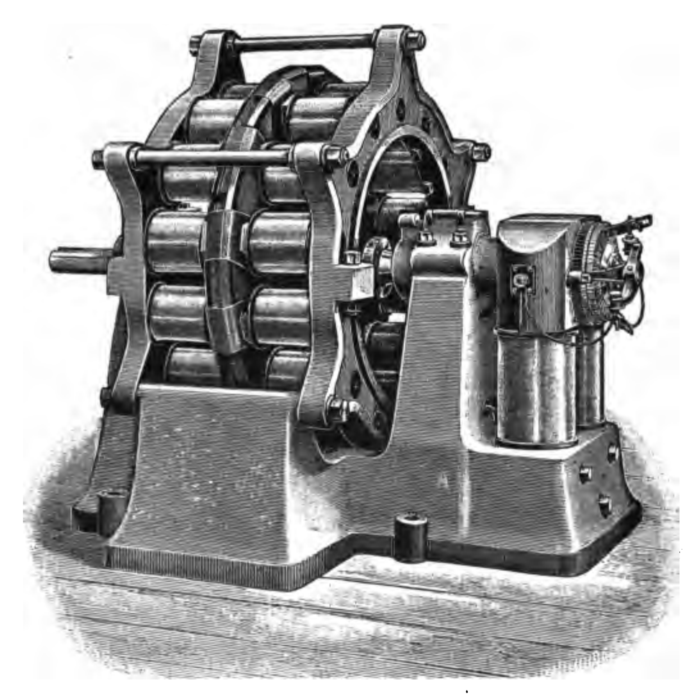


Fig. 90.

bei 600 Touren 30 Ampère und 2000 Volt, also 60000 V.-A. Die Erregermaschine liefert einen Strom von 21 Ampère für die Magnete und hat auch noch die Station mit Licht zu versorgen.

Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. baut Wechselstrommaschinen von der in Fig. 91 dargestellten Form in allen Größen von 30 Kilowatt an. Die Armatur ist fest, die Pole des rotierenden Magnetsystems sind radial angeordnet. Mit der Wechselstrommaschine ist die Erregermaschine zusammengebaut, und ihre Armatur sitzt direkt auf der Welle der ersteren.

Da man von jeder Gleichstrommaschine durch eine einfache Anordnung auch Wechselstrom, ja sogar den vielleicht von vielen

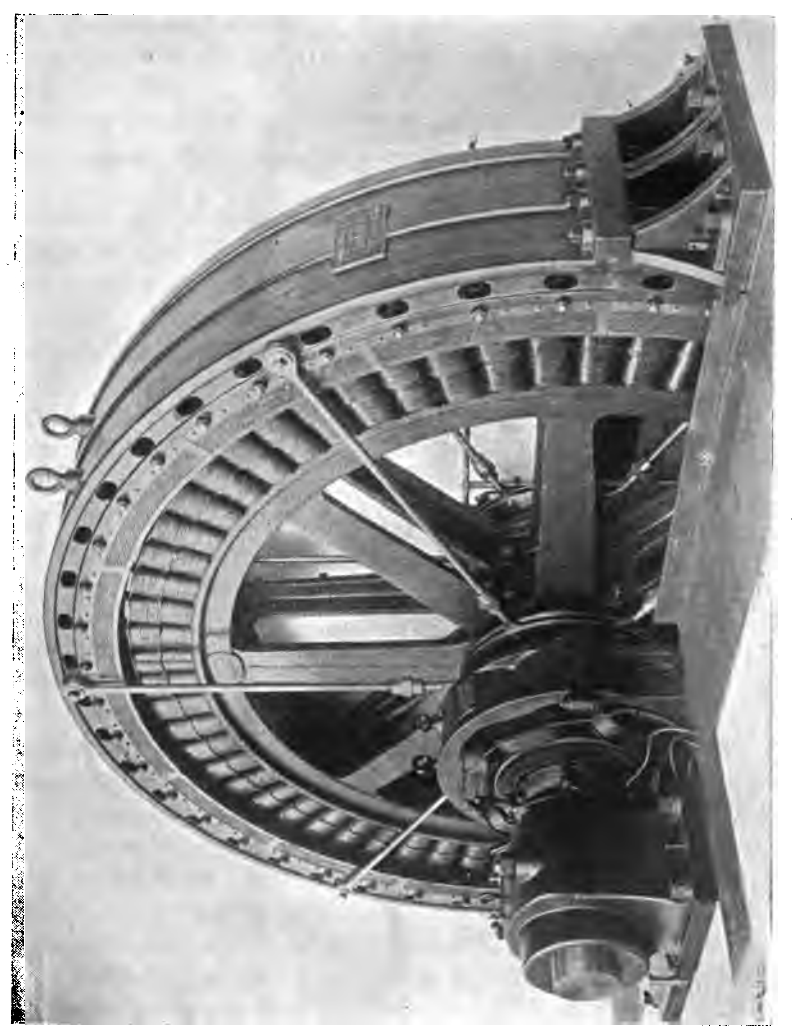


Fig. 91.

meiner Leser nicht richtig verstandenen Drehstrom abnehmen kann, halte ich es für geboten, hier einige Worte darüber zu sagen.

Vor allem wollen wir uns erst noch ein wenig mit dem Wechselstrom selbst befassen.

Während wir uns den Gleichstrom als ein durch eine elektromotorische Kraft hervorgerufenes gleichmäßiges Fließen in einer Richtung vorstellen können, ist dies beim Wechselstrom anders. Denken wir uns Fig. 92, eine Spule, also eine Anzahl von Drahtwindungen um einen Eisenkern, den wir zur Verstärkung der Wirkung gerne anwenden.

M sei ein Magnet. Solange derselbe seine Lage gegen die Spule nicht verändert, wird auch keinerlei elektromotorische Kraft in den Drahtwindungen induziert werden.

Sowie aber irgend eine Lageveränderung, z. B. ein Entfernen oder Nähern der Spirale oder des Magnetes gegeneinander eintritt, wird sofort eine elektromotorische Kraft induziert, deren Größe von der Intensität des Magnetismus, der Geschwindigkeit der Bewegung der Windungszahl usw. abhängig sein wird.

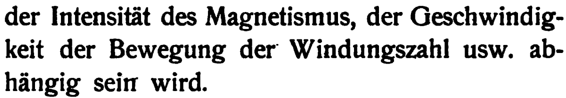


Fig. 92.

Stellen wir uns nun vor, daß die Spirale fest stünde, und wir würden nun den Magnet an derselben so vorbeiführen, daß er sich erst derselben nähert, genau gegenübersteht und sich sodann von derselben entfernt, so können wir nach früher Gesagtem leicht einsehen, daß in der Spule M ein Strom induziert wird, der, von 0 ansteigend, einen Maximalwert erreichen wird, dann schwächer werden muß, um wieder bis zu 0 zu sinken. Würde nun dem ersten Magnet ein zweiter folgen und nehmen wir an, derselbe wende der Spule seinen Südpol zu, so würde in der Spule abermals ein Strom entstehen und, da wir einen entgegengesetzten Pol vorbeiführen, auch von entgegengesetzter Richtung sein. Auch dieser Strom wird alle Werte von 0 bis zu einem Maximum und wieder herab bis zu 0 annehmen. Diesen Vorgang können wir uns aber mit Hilfe der beigegebenen Fig. 93 sehr hübsch graphisch darstellen und versinnlichen

Wir haben somit in diesem Bilde deutlich das Entstehen eines Wechselstromes, sobald an der Spule fortlaufend Magnetpole wechselnder Polarität sich vorbeibewegen oder die Spule bei ruhenden Magnetpolen vorbeigeführt wird. Die erzeugte elektromotorische Kraft wird selbstredend von der Windungszahl, der Feldstärke der Magnetpole und der Geschwindigkeit, mit welcher der Pol an der Spule vorbei bewegt wird, abhängig sein.

Bringt man nun beispielsweise, im Kreise geordnet, eine Anzahl von Spulen an, während die Magnete, wie die Speichen eine Rades, auf einer Welle befestigt sind, sendet durch die Magnete einen Gleichstrom und versetzt dieselben in Rotation, so werden in den Spulen

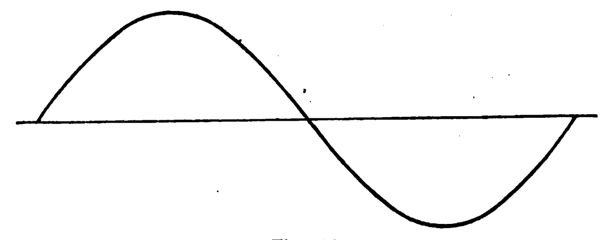


Fig. 93.

Wechselströme erzeugt. Diese Ströme können nun von jeder einzelnen Spule abgenommen werden, oder es können die Spulen, wie überhaupt Stromerzeuger, hintereinander, also in Serie für hohe Spannung, oder parallel für große Stromstärke geschaltet werden; nur der erste Fall findet technische Anwendung.

Wir haben in Fig. 93 ein Bild des einfachen Wechselstromes gewonnen. Denken wir uns nun, wir würden einen derartigen Wechselstrom durch eine Leitung senden, aber außerdem noch einen zweiten, der aber eine sogenannte Phasenverschiebung gegen den ersten zeigt, zum Beispiel um $^1/_3$ der Wellenlänge, d. h. mit anderen Worten: während der erste Wechselstrom einen Wert erreicht hat, der durch den Punkt A in Fig. 94 angedeutet ist, beginnt der zweite Strom eben; dann haben wir eine Verkettung zweier Wechselströme oder einen sogenannten zweiphasigen Strom. Senden wir nun noch in dieselbe Leitung einen dritten, wieder um $^1/_3$ Phase verschobenen Wechselstrom, so zeigt sich uns das Bild in Fig. 95, und wir nennen einen solchen Strom einen dreiphasigen Wechselstrom. Eine eigenartige Verkettung dreier, um 120° in der Phase verschobener Wechselströme in drei Leitern bezeichnet man als »Drehstrom«.

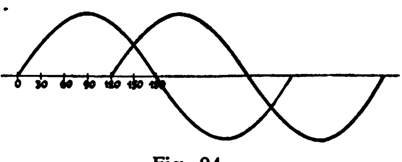


Fig. 94.

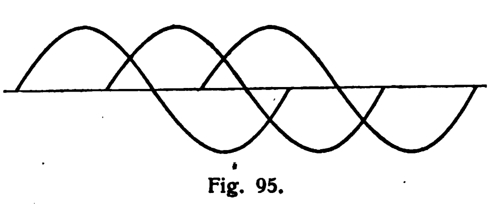


Fig. 95.



Fig. 96.



Fig. 97.



Diese Bezeichnung hat man gewählt, weil eine Magnetnadel durch einen derartigen Strom nicht einfach abgelenkt, sondern im Kreise gedreht wird.

Jeder Grammesche Ring erzeugt in den Spulen einen Wechselstrom, der nur durch die Anordnung des Kollektors als Gleichstrom die Maschine verläßt. Bringt man aber an der Welle statt des Kollektors zwei voneinander isolierte Schleifringe an, welche mit zwei gegenüberliegenden Spulen verbunden sind, so erhält man einen Wechselstrom. Die Magnete müssen natürlich mit Gleichstrom erregt werden, was am einfachsten in der Weise geschieht, daß man den üblichen Kollektor beibehält, um so Gleichstrom für die Magnete zu entnehmen.

Teilt man den Anker in drei Teile und führt von den drei Punkten je einen Draht zu drei voneinander isolierten Schleifringen, so erhält man einen Drehstrom.

Fig. 96 zeigt uns eine reine Drehstrommaschine der »Allgem. Elektrizitäts-Gesellschaft«, Berlin. Die Magnete werden durch Gleichstrom separat erregt. Fig. 97 gibt die Abbildung eines Drehstrommotors derselben Firma.

Schlusswort.

Hat der freundliche Leser mich bis hierher begleitet und dabei seine volle Aufmerksamkeit dem Gebrachten geschenkt, so habe ich die Überzeugung, daß derselbe einen Nutzen haben wird.

Er wird nun allerdings noch kein Elektrotechniker sein oder glauben, daß er sofort Maschinen jeder Art bauen kann; aber er wird die Überzeugung gewonnen haben, daß, sobald er mit vollem Eifer und redlichem Willen, ausdauernd den Gegenstand zu verfolgen, an die Arbeit geht, der Erfolg nicht ausbleiben wird. Freilich wird es noch viele Enttäuschungen, viele Mühe und — das Wichtigste — viel, viel Nachdenken geben.

So hoffe ich denn, einem aufmerksamen Leser den Grundstein zu weiterem Arbeiten gegeben zu haben, und wünsche, daß schon die erste Versuchsmaschine, die derselbe baut, seinen Erwartungen entsprechen möge.

Habe ich aber auch nur durch die vorhergehenden Zeilen das Verständnis für das Wesen der Dynamomaschine bei dem Leser gehoben und ihn so für das Studium größerer Schriften vorbereitet, so ist der Zweck dieses Buches erreicht.



Inhaltsübersicht.

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 1551

Averdieck, Ing. **W. Die Installation unter Berücksichtigung des »System Bergmann«.** Ein Leitfaden für Monteure und alle diejenigen, welche die Herstellung von Lichtanlagen zu veranlassen haben. gr. 8°. 54 Seiten. Mit 58 Abbildungen und 1 Tafel. Brosch. ℳ 2.—.

Bauch, Ing. **R.** Die Einrichtung elektrischer Beleuchtungsanlagen für Wechsel- und Drehstrombetrieb. gr. 8°. 300 Seiten. Mit 160 Abbild. Brosch. ℳ 8.—, geb. ℳ 9.25.

Biscan, Prof. **Wilh. Die Bogenlampe. Physikalische Gesetze.** Funktion, Bau und Konstruktion derselben für Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure etc., sowie als Anleitung zur Anfertigung von Bogenlampen. gr. 8°. 86 Seiten. Mit 74 Abbildungen. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.50.

Biscan, Prof. **Wilh. Die Dynamomaschine. Zum Selbststudium** für Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure u. s. w., sowie als Anleitung zur Selbstanfertigung von Dynamomaschinen leicht faßlich dargestellt. Neunte, vermehrte Aufl. gr. 8°. 126 S. Mit 110 Abb. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.75.

Biscan, Prof. **Wilh. Die elektrischen Messinstrumente. Die wissenschaftlichen** Messinstrumente und Messbehelfe. gr. 8°. 102 Seiten. Mit 98 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3.75.

Biscan, Prof. **Wilh. Der Wechselstrom und die Wechselstrommaschinen.** Zum Selbststudium für Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure etc. leicht faßlich dargestellt. gr. 8°. 104 Seiten. Mit 90 Abbild. Brosch. ℳ 2.50, geb. ℳ 3.—.

Biscan, Prof. **Wilh. Formeln und Tabellen für den praktischen** Elektrotechniker. Ein Hilfs- und Notizbuch. Fünfte Auflage. kl. 8°. 176 Seiten. Mit Abbild. und 4 Tafeln. Geb. ℳ 2.—.

Bohnenstengel, C. Die Elektrizität auf Dampfschiffen. Ein Leitfaden für Ingenieure und Maschinisten. Zweite Auflage. gr. 8°. 76 Seiten. Mit 116 Abbildungen. Geb. ℳ 2.—.

Brauchbar, Dr. **Rud. Über Unfälle durch hochgespannte elektrische** Ströme und die erste Hilfeleistung bei denselben. 8°, 16 Seiten Mit 4 Abbild. Brosch. ℳ —.60.

Braun, Ober-Ing. **H. Gewichtstabellen über Flach-, Rund- und Profil-**Eisen für alle technischen Bureaux und Gewerbetreibende. gr. 8°. VI und 60 Seiten. Brosch. ℳ 2.—.

Dürre, Prof. Dr. **Ernst Friedrich. Ziele und Grenzen der Elektrometallurgie.** Eine vergleichende Betrachtung der heutigen Hüttenprozesse und der bis jetzt geschehenen und überhaupt möglichen Anwendungen der Elektrizität bei der praktischen Metallgewinnung. Für praktische Hüttenleute und Elektrotechniker. 15 Bog. gr. Lex. 8. Mit 44 Textfig. und 21 farbigen Tafeln. Brosch. ℳ 20.—, geb. ℳ 22.—.

Elektrotechnikers literarisches Auskunftsbuch. Die Literatur der Elektrotechnik, Elektrizität, Elektrochemie, Elektrometallurgie, des Magnetismus, der Telegraphie. Telephonie, Blitzschutzvorrichtung, Röntgenstrahlen, sowie der Acetylen- und Carbidindustrie der Jahre 1884 bis 1903. Mit Schlagwortregister. Zusammengestellt von Fr. Schmidt-Hennigker. 7. ergänzte Auflage. 8°. 156 S. Brosch. ℳ 1.25.

— **Nachtrag.** Die Neuerscheinungen u. neuen Auflagen während der Zeit vom Juni 1903 bis August 1904. ℳ —.45

Feldmann, Ingen. **Clarence P. Wirkungsweise, Prüfung und Berechnung** der Wechselstrom-Transformatoren. Für die Praxis bearbeitet. gr. 8°. 514 Seiten. Mit 279 Abbildungen. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.—.

Haas, Prof. Dr. **Einführung in die Elektrizitätslehre. Zwölf gemeinverständliche** Vorträge. 8°. 101 Seiten. Mit 78 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.50.

Heim, Prof. Dr. **Carl. Akkumulatoren für stationäre elektrische** Beleuchtungs-Anlagen. gr. 8°. Dritte verm. Aufl. 116 Seiten. Mit 77 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—. geb. ℳ 4.—.

Heim, Prof. Dr. **Carl. Die Einrichtung elektrischer Beleuchtungs-Anlagen für Gleichstrombetrieb.** Vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage. gr. 8°. 672 Seiten. Mit 605 Abbildungen. Brosch. ℳ 11.50, geb. ℳ 12.50

Heinke, Prof. Dr. **C. Die Grundvorstellungen über Elektrizität** und deren technische Verwendung. In Form eines Gesprächs zwischen Laie und Fachmann. Zweite verm. Auflage. gr. 8°. 80 Seiten. Mit 24 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.50.

Herzog, Ingen. **S. Schule des Elektromonteurs. Handbuch für** Elektromonteure und Maschinisten elektrischer Kraft- und Lichtanlagen. 8°. 141 Seiten. Mit 136 Abbild. Geb. ℳ 2.50.

Kapp, Ingen. **Gisbert. Elektrische Wechselströme. Autorisierte** deutsche Ausgabe von Hermann Kaufmann. Dritte Aufl. 8° 92 Seiten. Mit zahlr. Figuren. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.75

Keil, stud. arch. nav. **P. Elektrische Schiffahrt. Darstellung ihrer** Geschichte und Entwickelung nebst Anleitung zur Einrichtung elektrischer Boote. gr. 8°. 64 Seit. Mit 24 Abbild. Brosch. ℳ 1.80.

Krämer, Ober-Ingen. **Jos. Wirkungsgrade und Kosten elektrischer** und mechanischer Kraft-Transmissionen. Soll bei einer Fabrik-Neuanlage mechanische oder elektrische Transmission eingerichtet werden? Ist es empfehlenswert, bestehende Transmissionen durch elektrische zu ersetzen? Welches elektrische System soll angewendet werden? Zweite umgearb. und verm. Auflage. gr. 8°. 126 Seiten. Mit 82 Abbild. Brosch. ℳ 4.50, geb. ℳ 5.50

Krämer, Ober-Ingen. **Jos. Konstruktion und Berechnung für 20 verschiedene** Typen von Dynamo-Gleichstrom-Maschinen für Maschinen-Ingenieure und Elektrotechniker. 2. gänzlich neu bearbeitete Aufl. Mit 25 Tafeln, wovon 9 in Farbendruck, als Zeichenvorlagen bei Konstruktionsarbeiten, erläut. Text und 49 Fig. Lex. 8°. Brosch. ℳ 15.—, Kart. ℳ 15.50.

Krämer, Ober-Ingen. **Jos. Die mechanischen und elektrischen Konstruktionen** für elektrische Eisenbahnen. Hilfsbuch für Maschinen-, Elektro- und Eisenbahn-Ingenieure, Konstrukteure und Wagenbauer, zugleich ein Vorlagenwerk für Konstruktions-Bureaux. Bahnmotoren und Generatoren. 33 lithographische Tafeln, wovon 10 in Farbendruck und 9 Bogen Text mit 84 Figuren. Querquart. Geb. ℳ 20.—.

Krieg, Dr. **Martin. Taschenbuch der Elektrizität. Ein Nachschlage**buch und Ratgeber für Techniker, Monteure, Industrielle u. technische Lehranstalten. Siebente Aufl. kl. 8°. 350 Seiten. Mit 295 Abbildungen. Geb. ℳ 3.—.

Krüger, E. A. Die Herstellung der elektrischen Glühlampe. Nach in den verschiedensten Glühlampen-Fabriken gesammelten praktischen Erfahrungen gemeinverständlich erörtert. gr. 8°. 103 Seit. Mit 72 Abbild. u. 5 Taf. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3.50

Le Blanc, Prof. Dr. **Max. Lehrbuch d. Elektrochemie. 3. verm. Aufl.** gr. 8°. 284 Seiten. Mit 31 Fig. Brosch. ℳ 6.—, geb. ℳ 7.—.

Liebetanz, Fr. Handbuch der Calciumcarbid- und Acetylentechnik. Nach den neuesten Fortschritten und Erfahrungen geschildert. Zweite verm. Aufl. gr. 8°. 423 Seiten. Mit 257 Abbild. und 7 Tafeln. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.—

Liebetanz, Fr. Gesetzliche Vorschriften über Herstellung und Benutzung von Acetylen nebst den Bestimmungen der Feuerversicherungs-Gesellschaften, Unfallverhütungs-Vorschriften und Transport-Bestimmungen für Calciumcarbid und Acetylen. Mit Anhang: Zolltarif für Calciumcarbid und Acetylenapparate. gr. 8°. 92 Seiten. Brosch. ℳ 2.—.

Liebetanz, Fr., Hilfsbuch für Installationen von Acetylen-Beleuchtungsanlagen. kl. 8°. 104 Seiten mit 85 Abbild. Geb. ℳ 3.75

Lindner, Elektr. **Max, Der Blitzschutz.** Praktische Anleitung zur Projektierung, Herstellung u. Prüfung von Gebäude-Blitzableitern jeder Art auf Grund der neueren Anschauungen über das Wesen der Blitzentladungen. 8°. 176 Seiten mit 142 Abbildungen. ℳ 4.—; geb. ℳ 5.—.

Loose, Ingen. **Fritz,** und Ingen. **Max Schiemann, Taschenbuch** für Monteure elektrischer Strassenbahnen. Eine Anleitung zum Bau und zur Unterhaltung elektrischer Strassenbahnen mit Oberleitungs- und Akkumulatorenbetrieb. 2. Aufl. kl. 8°. 131 S. Mit 112 Abbildungen, Millimeterpapier. Geb. ℳ 1.50.

Lux, Ing. Dr. **H. Die wirtschaftliche Bedeutung der Gas- und** Elektrizitätswerke in Deutschland. Eine volkswirtschaftlich-technische Untersuchung. gr. 8°. 131 Seiten. Mit 9 Figuren. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 4.—.

Luxenberg, Dr. **M. Die Bogenlichtschaltungen und Bogenlicht-Gattungen.** Zweite vermehrte Aufl. gr. 8°. 51 Seiten mit 4 Figuren-Tafeln. Brosch. ℳ 2.50.

Maresch, Ingenieur **Cornel. Kraftmaschinen zum Betriebe dynamo-**elektrischer Stromerzeuger. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Elektrotechniker, Elektromonteure, Industrielle u. s. w. gr. 8°. 236 Seit. Mit 261 Abbild. Brosch. ℳ 4.25, geb. ℳ 5.25.

Neureiter, Ingen. **Ferd. Die Verteilung der elektrischen Energie.** 2. Aufl. gr. 8°. 276 Seiten. Mit 136 Figuren. Brosch. ℳ 9.—, geb. ℳ 10.—.

Pauls Tabellen der Elektrotechnik. Zum praktischen Gebrauch für Techniker, Werkmeister, Monteure, Werkstattarbeiter. Maschinisten. 2. Aufl., bearbeitet v. Ingenieur Gust. Wilh. Meyer. kl. Quer-Format. 73 Seiten. ℳ 1.40.

Peschel, Ing. **A. Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen** zu Beleuchtungszwecken. Für Elektrotechniker, Monteure und Installateure zur praktischen Anlage und Behandlung des Leitungsmaterials. 2. vermehrte Aufl. gr. 8°. VI und 344 Seiten. Mit 589 Abbild. Brosch. ℳ 6.—, geb. ℳ 7.50.

Praktische Anleitung zur Anlage von Blitzableitern. Mit 26 Abbildungen. Vierte Auflage. 8°. 44 Seiten. Brosch. ℳ —.60.

Prasch, Adolf, u. **Hugo Wietz. Die elektrotechnischen Maße.** Lehrbuch zum Selbststudium. Dargestellt und durch zahlreiche Beispiele und 38 in den Text gedruckte Figuren erläutert. gr. 8°. 153 Seiten. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3,50.

Riedel, Elektro-Ing. **K. Die Wechselstrom-Maschinen und die Drehstrom-Maschinen.** Für Elektrotechniker, Monteure, Mechaniker, Schlosser etc. und zum Selbststudium in leicht verständlicher Darstellung. gr. 8°. 114 Seiten. Mit 120 Fig. und 12 Tafeln. Brosch. ℳ 3.50, geb. ℳ 4.50.

Rodet, Prof. **J. Berechnung der Leitungen für Mehrphasenströme.** Autorisierte deutsche Übersetzung von Ing. M. Lachmann. gr. 8°. 55 Seiten. Mit 22 Fig. Brosch. ℳ 2.75.

Rohrbeck, Ing. **E. Die Berechnung elektrischer Leitungen, insbesondere der Gleichstrom-Verteilungsnetze.** 8°. 76 Seiten. Mit 24 Abbild. und 3 Tafeln in zwei Farben. Brosch. ℳ 2.50.

Rosemeyer, Elektrot. **Josef. Dauerbrand-Bogenlampen. Eine** leichtfaßliche Betrachtung über Bogenlampen im allgemeinen und Dauerbrandlampen im besonderen, sowie deren Verhältnisse zueinander. 8° 78 Seiten mit 41 Abbildungen. ℳ 2.—.

Rosenberg, E., Obering. **Elektrische Starkstromtechnik. Eine** leichtfaßliche Darstellung als Lehrbuch für Monteure, Techniker, Installateure, Schlosser und die Hilfsarbeiter in der Elektrotechnik, sowie für Laien. gr. 8°. 296 Seiten mit 284 Abbild. Brosch. ℳ 7.—, geb. ℳ 8.—.

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Gleichstrom-**Technik. Eine gemeinfaßliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik des Gleichstromes für Ingenieure etc. 2. verm. Auflage. gr. 8°. 626 Seiten. Mit 400 Abbild. Brosch. ℳ 14.—, geb. ℳ 15.50

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Wechselstrom-Technik.** Eine gemeinfaßliche Darstellung der Grundlagen der Elektrotechnik der Wechsel- und Mehrphasenströme. Zugleich Ergänzungsband zu desselben Verfassers: Grundzüge der Gleichstromtechnik. 2. umgearb. Aufl. gr. 8°. 619 Seiten. Mit 505 Abbild. Brosch. ℳ 15.75, geb. ℳ 17.—.

Sack, J., Telegr.-Direktor. **Elektrotechnisches Wörterbuch.** Englisch-Deutsch; Französisch-Deutsch; Deutsch-Englisch-Französisch. Mit Zusätzen versehen von Ing. Arthur Wilke. gr. 8°. 123 Seiten. Brosch. ℳ 4.50, geb. ℳ 5.—.

Saur, K. Volt-Ampère-Watt-Pferdestärken. Dreizehn graphische Tafeln über die in der Praxis zumeist vorkommenden Werte und Wirkungsgrade. kl. Quer-Format. Mit 7 Bogen erläuterndem Text. geb. ℳ 2.75.

Schiemann, Ingen. **Max. Bau und Betrieb elektrischer Bahnen.** Handbuch zu deren Projektierung, Bau und Betriebsführung. I. Bd.: **Strassenbahnen.** Dritte vermehrte Auflage. gr. 8°. 678 S. Mit 521 Abbildungen, 1 lithographischen Tafel und 3 Tafeln Diagramme. Brosch. ℳ 12.50, geb. ℳ 14.—.

II. Bd.: **Haupt-, Neben-, Industrie-, Fernschnell- und gleislose Bahnen.** Zweite und dritte Auflage. gr. 8°. 462 S. Mit 274 Abbildungen u. 31 Tafeln. Brosch. ℳ 12.50, geb. ℳ 14.—.

Schiemann, Ingen. **Max. Die elektrischen Autbahnen. Gleislose** Motorbahnen mit elektrischer Stromzuführung. Ein neues Verkehrsmittel, ein neuer Industriezweig, eine neue Kapitalanlage. gr. 8°. 35 Seiten mit 25 Abbild. ℳ —.75.

Schiemann, Ingen. **Max. Elektrische Fernschnellbahnen der Zukunft.** Populäre volkswirtschaftliche Eisenbahnskizze. gr. 8°. 55 Seiten. Mit 6 Holzschn. u. 1 lithograph. Tafel. Brosch. ℳ 1.50.

Schmidt-Ulm, Ingen. **Georg. Die Wirkungsweise, Berechnung** und Konstruktion der Gleichstrom-Dynamomaschinen und Motoren. Praktisches Handbuch für Elektrotechniker, Konstrukteure und Studierende an technischen Mittel- und Hochschulen. 2. vermehrte Auflage. 17 Bog. 8°. Mit 204 Abbild., 41 Tafeln Konstruktionsskizzen und 1 Diagrammtafel. Brosch. ℳ 8.50, geb. ℳ 9.60.

Stierstorfer, Ingen. **Peter. Grundzüge der Theorie und des Baues** der Dampfturbinen. Mit Berücksichtigung der Rotationsdampfmaschinen. gr. 8°. 152 Seiten mit 89 Abbildungen u. 16 Tabellen. Brosch. ℳ 4.75, geb. ℳ 5.50.

Weil, Julius. Die Entstehung und Entwicklung unserer elektrischen Strassenbahnen. In gemeinfaßlicher Darstellung. gr. 8°. 92 Seiten mit 67 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—.

Weil, Dr. **Th. Neuere Bogenlampen, deren Mechanismen und Anwendungsgebiete.** Leitfaden durch das Gebiet der modernen Bogenlampentechnik in gemeinfaßlicher Darstellung. gr. 8°. 91 Seiten. Mit 120 Abbild. Brosch. ℳ 3.50.

Wietz, Hugo. Die isolierten Leitungsdrähte und Kabel. Ihre Erzeugung, Verlegung und Unterhaltung. gr. 8°. 236 Seiten. Mit 159 Abbildungen. Brosch. ℳ 7.—, geb. ℳ 8.20.

Wilke, Ingen. **Arthur. Über die gegenseitigen Beeinflussungen der** Fernsprechleitungen nach Müller's Theorie. gr. 8°. 69 Seiten. Mit 39 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.—.

Wilke, Ingen. **Arthur. Der elektrotechnische Beruf. Eine kurz**gefaßte Darstellung des Bildungsganges und der Aussichten des Elektrotechnikers, des Elektrochemikers und der elektrotechnischen Gewerbetreibenden. Dritte vermehrte Auflage. gr. 8°. 127 Seiten. Brosch. ℳ 2.—; geb. ℳ 2.60.

6635



